



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**VLIV REDUKČNÍHO JÁDRA NA PROSÁKAVOST
A MRAZUVZDORNOST CIHELNÉHO STŘEPU**

THE EFFECT OF REDUCTION CORE ON THE WATER IMPERMEABILITY AND FROST
RESISTANCE OF BRICK BODY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Kučera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Kučera
Název	Vliv redukčního jádra na prosákavost a mrazuvzdornost cihelného střepu
Vedoucí práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3.
- [2] Valenta, L. Keramická příručka. Vydavatelství technické literatury. Horní Maršov 1999.
- [3] Hanykýř, V. Kutzendorfner Technologie keramiky. Vega. Hradec Králové 2001.
- [4] ŠVEDA, M. The Reduction Core in Clay Roofing Tiles. Střechy, fasády, izolace, Vol. 13, 2003, No. 1, pp. 36 – 37 (in Slovak).
- [5] ŠVEDA, M. Elimination of the Reduction Core in a Clay Roofing Tile Body. Ziegelindustrie International, Vol. 54, 2001, No. 8, pp. 34 - 43.
- [6] Šveda, M. Mrazuvzdornost pálené krytiny s redukčním jádrem. Silika. 2003. Vol. 13, no. 5-6, s. 152-155.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Redukční jádro se při specifických podmínkách výpalu může vytvořit i ve střepu pálených střešních tašek. Je otázkou, jak toto jádro ovlivňuje základní fyzikálně mechanické parametry pálených střešních tašek, a to zejména jejich únosnost (ČSN EN 538), mrazuvzdornost (ČSN EN 539-2) a prosákavost (ČSN EN 839-1).

Cíle bakalářské práce je možno definovat v následujících bodech:

- v teoretické části práci provést rešerši doposud publikovaných výsledků výzkumu v oblasti vlivu redukčních, resp. černých jader na vlastnosti cihlářského střepu a shrnout základní pravidla pro úspěšnou eliminaci redukčních jader během výpalu cihlářského střepu,
- v rámci experimentální části práce porovnat vlastnosti (pórovitost, pevnost v ohybu, prosákavost, mrazuvzdornost) laboratorně připravených vzorků s různě vyvinutým redukčním jádrem (výrobní směs cihelna Hranice, TONDACH Česká republika s.r.o.) na základě odlišně vedeného výpalu (zej. vliv rychlosti nárůstu teploty),
- porovnat součinitel délkové teplotní roztažnosti střepu v závislosti na existenci redukčního jádra,
- porovnat distribuci velikosti pórů a celkový objem pórů střepu a redukčního jádra metodou vysokotlaké rtuťové porozimetrie.

Doporučený rozsah práce 40 - 50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá vplyvom redukčného jadra na základné fyzikálno-mechanické vlastnosti pálených strešných tašiek. V teoretickej časti sú zhrnuté doposiaľ publikované poznatky v oblasti vplyvu redukčných jadier na vlastnosti tehliarskeho črepu a takisto sú zhrnuté základné pravidla pre úspešnú elimináciu redukčných jadier počas výpalu tehliarskeho črepu. V experimentálnej časti sú porovnávané vlastnosti hlavne pórovitosti, pevnosti v ohybe, presiakavosti a mrazuvzdornosti laboratórne pripravených vzoriek s rôzne vyvinutým redukčným jadrom na základe odlišne vedeného výpalu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Redukčné jadro, presiakavosť, mrazuvzdornosť, tehliarsky črep

ABSTRACT

The bachelor thesis reviews effect of reduction core on the basic physical and mechanical properties of fired roof tiles. Theoretical part summarizes the knowledge about the reduction cores effect on the properties of the brick body and describes the basic rules for the successful reduction core elimination during firing of the brick body. In the experimental part are mainly compared properties of porosity, bend strength, impermeability and frost resistance of laboratory prepared samples and those are compared based on differently developed reduction core due to different firing.

KEYWORDS

Reduction core, impermeability, frost resistance, brick body

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Tomáš Kučera *Vliv redukčního jádra na prosákavost a mrazuvzdornost cihelného střeby*. Brno, 2018. 53 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

Tomáš Kučera
autor práce

POĎAKOVANIE

Za odborné vedenie a podporu pri riešení bakalárskej práce ďakujem doc. Ing. Radomírovi Sokolárovi Ph. D. a ďalším členom Ústavu technológie stavebných hmôt a dielcov, ktorý mi boli pri spracovaní nápomocní.

OBSAH

Úvod	10
I. Teoretická časť	11
1 Vznik čierneho a redukčného jadra	11
1.1 Čierne jadro.....	11
1.2 Redukčné jadro	13
1.3 Faktory ovplyvňujúce veľkosť čierneho a redukčného jadra.....	14
1.3.1 Pecné prostredie	14
1.3.1.1 Uloženie na pecnom voze	14
1.3.1.2 Druh pece	16
1.3.2 Vplyv rýchlosti zvyšovania teploty výpalu a hrúbky črepu	16
1.3.3 Pórovitosť črepu	17
1.3.4 Heterogénna reakcia vodného plynu.....	18
1.3.5 Chemické zloženie	18
2 Vplyv redukčného jadra na vlastnosti črepu	20
2.1 Vplyv redukčného jadra na mrazuvzdornosť črepu	21
3 Eliminácia redukčného jadra	24
3.1 Eliminácia pomocou prísady	24
3.1.1 Aplikácia chemických prísad	25
3.1.2 Aplikácia ostriva	26
3.1.3 porovnanie vlastností pri použití prísad	27
3.1.4 Vplyv pórovej štruktúry na elimináciu redukčného jadra.....	28
II. Experimentálna časť	31
4 Metodika práce	31
4.1 Vývojový diagram	32
4.2 Príprava vzoriek	33
4.3 Vykonávané skúšky.....	33
4.3.1 Kontrakčne dilatačne termická analýza (DKTA)	33
4.3.2 Stanovenie dĺžkovej zmeny.....	34
4.3.3 Strata hmotnosti pálením	35
4.3.4 Nasiakavosť pri atmosférickom tlaku.....	35
4.3.5 Nasiakavosť vákuovou metódou	35
4.3.6 Objemová hmotnosť.....	36
4.3.7 Zdanlivá pórovitosť.....	36
4.3.8 Zdanlivá hustota	37
4.3.9 Stanovenie presiakavosti	37

4.3.10	Stanovenie vzĺínavosti.....	38
4.3.11	Stanovenie mrazuvzdornosti	38
4.3.12	Pevnosť v ťahu za ohybu	39
4.3.13	Stanovenie KTR jadra a črepu	40
4.3.14	Metóda vysokotlakovej ortuťovej porozimetrie	40
5	Vyhodnotenie	40
5.1	DKTA.....	42
5.2	Porovnanie vlastností črepu	42
5.3	Presiakavosť	43
5.4	Porovnanie črepu k redukčnému jadr.....	44
6	Zhrnutie výsledkov	46
7	Záver	47
8	Zoznam použitých zdrojov	49
9	Zoznam použitých obrázkov	51
10	Zoznam tabuliek	53

Úvod

Pri prvom vizuálnom pohľade na pálenú krytinu vzniká dojem, že výrobca s jej kvalitou nemá problém. Po rozrezaní danej krytiny na polovicu spozorujeme v oblasti jadra zmenu farby. Z danej vizuálnej kontroly vidíme, že krytina je nerovnomerne vypálená a vyznačuje sa tzv. redukčným jadrom. Otázkou je ako dané redukčné jadro ovplyvňuje vlastnosti črepu, a akými spôsobmi sa dá úspešne eliminovať jeho vznik.

Redukčné jadro je problémom hlavne u pálených strešných tašiek, a preto je potrebné vedieť ako redukčné jadro ovplyvňuje vlastnosti, ktoré tieto tašky musia spĺňať pre ich správnu funkciu. Jedná sa hlavne o mrazuvzdornosť, presiakavosť, únosnosť a estetickú stránku.

V odbornej literatúre sa často zamieňa pojem čierne a redukčné jadro. Preto je potrebné poukázať na rozdiel medzi týmito dvoma javmi a popísať, aké faktory ovplyvňujú ich vznik a veľkosť.

Cieľom práce je zhrnúť doposiaľ publikované poznatky vzniku redukčného jadra, vplyvu na vlastnosti a zhrnúť základné pravidlá pre úspešnú elimináciu vzniku. Experimentálna časť by mala doplniť informácie, ktoré zatiaľ neboli publikované.

I. Teoretická časť

1 Vznik čierneho a redukčného jadra

1.1 Čierne jadro

Bežnou prímесou plastických keramických ílov sú často organické látky, ktoré sa používajú na vyl'ahčenie keramického črepu, čo sa odzrkadľuje v [5]:

- znížení objemovej hmotnosti
- znížení tepelnej vodivosti
- znížení citlivosti pri sušení
- zamedzení tvorby nevhodnej textúry pri vytláčaní z pásmového lisu
- znížení spotreby fosílnych palív
- znížení spotreby hlavnej tehliarskej suroviny

Ako organické látky sa pridávajú napríklad drevné piliny, celulózové kaly, hnedouhoľné a čiernouhoľné prachy. Vyl'ahčenie je spôsobené vyhorevaním týchto látok pri výpale [3].

Pridávanie organických látok má aj nevýhody. Ich prítomnosť spôsobuje pokles pevnostných charakteristík a problémy pri rezaní pásma. Pri neúplnom vyhorevaní týchto organických látok môže vznikať čierne jadro [3].

Pri náraste teploty v tunelovej peci dochádza už pri 200 °C k úniku prvých prchavých plynov, ktoré ďalším zvyšovaním teploty zhoria v atmosfére. V črepe ostáva uhlík, ktorého rýchlosť vyhorevania závisí podľa Lacha [4] na nasledujúcich faktoroch:

- hrúbke a permeabilite črepu
- prístupe kyslíka, ktorý sa pomocou difúzie dostáva do vnútra črepu
- druhu vyhorevajúcej organickej látky, jej koncentráciou a čase potrebnom na vyhorenie
- chemickom zložení tehliarskej suroviny hlavne, na obsahu Fe_2O_3 a uhličitanov

Spaľovanie uhlíku prebieha radou čiastkových reakcií. Pri vyhorevaní organických látok prebiehajú nasledujúce reakcie [3]:

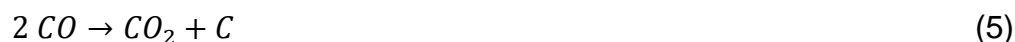




Prvé tri reakcie prebiehajú pri oxidačnom prostredí, ktoré zaistuje postupný prísun kyslíka do vnútra črepu a odvádzanie oxidov uhlíka na povrch črepu. Kyslík sa do črepu dostáva pomocou difúzie. Difúzne horenie pri spaľovaní uhlíka vo voľnom prostredí nastáva až pri teplote 1000 °C.

Pomocou katalyzátora, ktorým je tehliarsky črep, prebieha už pri teplote 300 - 400 °C [1,3].

Reakcia (4) vzniká pri prebytku uhlíka v črepe a jedná sa o redukčnú tzv. Bondouardovu vratnú reakciu. Jej význam je hlavne pri vyhoriavaní organických látok zalisovaných v tehliarskom črepe. Vzniknutý CO difunduje z oblasti vyšších teplôt do oblastí nižších teplôt, čiže do vnútra črepu. Vo vnútri črepu nastáva spätný rozklad podľa reakcie [1,2,3]:



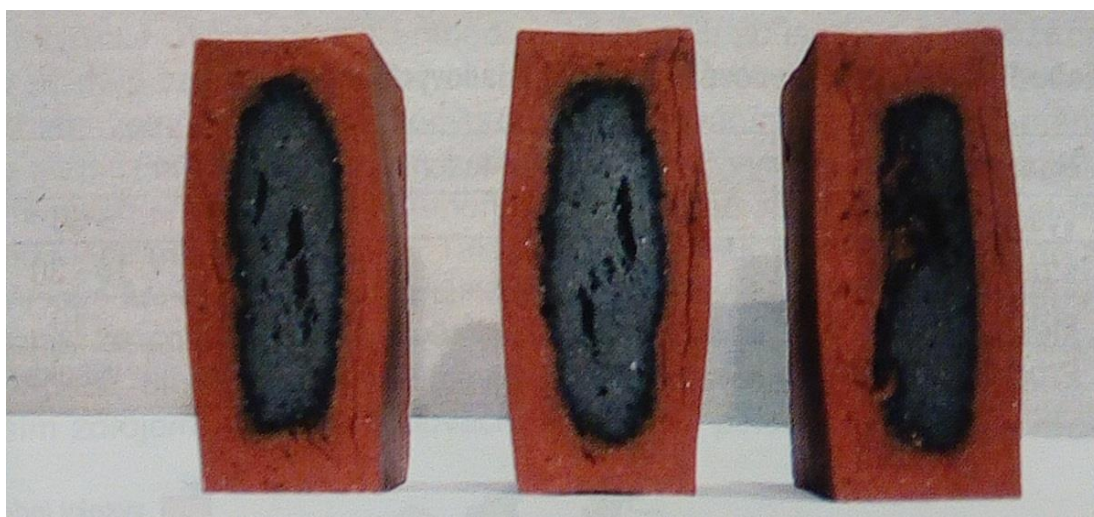
Vzniknuté CO₂ zase difunduje v opačnom smere z oblasti nižších teplôt do oblastí vyšších, kde reaguje s uhlíkom podľa reakcie (4). Týmto procesom sa premiestňuje uhlík do vnútra črepu. Zvyšuje sa jeho koncentrácia a spôsobuje čierne zafarbenie. Bondouardova reakcia dosahuje rovnováhu pri teplote 687 °C, kedy existujú vedľa seba CO a CO₂ v pomere objemov 1:1. Nad teplotou 800 °C CO₂ skoro mizne. Týmto procesom sa spomaľuje priebeh vyhoriavania uhlíka, pretože uhlík sa hromadí v strede črepu. Dlhším pôsobením vyšších teplôt sa zostatkový uhlík stáva menej aktívnym a ustalať sa rovnováha grafitického uhlíku. Uhlík prechádza zo stavu amorfného do stavu kryštalického, ktorý sa obťažne spaľuje a zotrváva aj pri vysokých teplotách [1,3].

Pri výbere zalisovaných uhľčitých látok je potrebné si určiť maximálne množstvo zalisovaného paliva pre danú surovinovú zmes, pri ktorej sa dosiahne najväčšieho efektu pri požadovanej kvalite výrobku. Ďalej hrá dôležitú roľu aj granulometria paliva, vyznačujúca sa maximálnym zrnom, ktoré by po úprave nemalo prekročiť hodnotu 3 mm. Najvhodnejšie sa javí zrno o veľkosti 1 mm.

Vzhľadom k výhrevnosti pri spaľovaní je potrebné dávať prednosť vysoko preuhoľneným vyhorievajúcim látkam s malým obsahom prchavej horľaviny. Taktiež je nutné zohľadniť možnosti spracovania ako napríklad výdrž izotermického ohrevu [7].

1.2 Redukčné jadro

Redukčné jadro vzniká v prípade vysokého podielu jemných zŕn v surovine a prítomnosti tavív. Taviva zabezpečia rýchlejšie slinutie črepu, hlavne povrchovej vrstvy. To má za následok zníženie jeho pórovitosti, čo zamedzuje prístupu kyslíku do vnútra črepu, keďže kyslík sa do črepu dostáva pomocou difúzie tzv. difúznym horením, spomenutým už pri vzniku čierneho jadra. Pri daných pochodoch nedochádza k potrebnej oxidácii prítomných oxidov železa. Nerovnaká oxidácia železa spôsobuje v priereze črepu farebnú zmenu od červenohnedej cez čiernu až po sivú. Pri určitom stupni slinutia môže taktiež nastať situácia, kedy vznikajúce plyny z rozkladu uhličitanov môžu spôsobiť nafúknutie [8,9], pozri obr. 1. Vznik redukčného jadra je problémom hlavne u strešnej pálenej krytiny.



Obrázok 1: Pričný rez nafúknutého páleného črepu s redukčným jadrom [8]

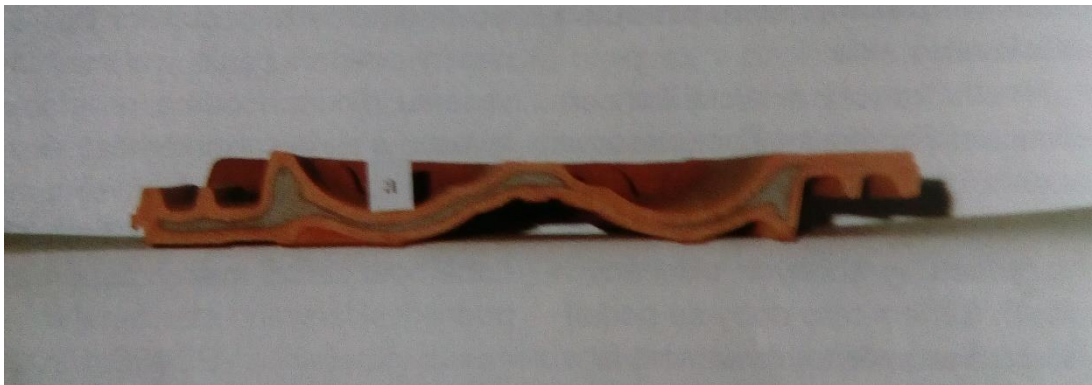
1.3 Faktory ovplyvňujúce veľkosť čierneho a redukčného jadra

1.3.1 Pecné prostredie

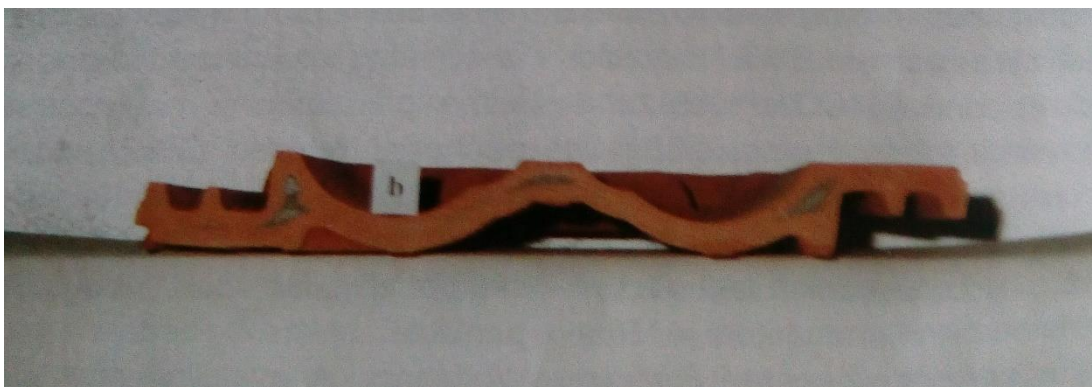
Keďže sa jedná o oxidáciu železa alebo uhlíka je potrebné aby výpal prebiehal pri dostatku vzduchu, teda v oxidačnom prostredí. V redukčnom prostredí zlúčeniny železa reagujú pri teplotách 950 – 1000 °C za tvorby veľkého množstva taveniny a nastáva redukcia Fe^{3+} na Fe^{2+} , ktoré reagujú s SiO_2 , vznikajú ľahko tavitelné zlúčeniny a uvoľňuje sa plynná fáza O_2 . Oxidačné prostredie, v prípade organických prímiesí, je potrebné dodržiavať hlavne pri 500 °C – 700 °C (800 °C), aby bol všetok uhlík z mikroštruktúry odstránený. Iba v tomto prípade nevzniknú čierne jadrá, nemôže nastať deformácia črepu a črep získa potrebnú kvalitu. Prejaví sa úspora paliva vplyvom zalisovaných organických látok a zníži sa merná spotreba tepla na výpal [1,7].

1.3.1.1 Uloženie na pecnom voze

Uloženie na pecnom voze môže tiež ovplyvniť veľkosť redukčného jadra. Obrázky 2,3 ukazujú priečny rez krytiny v hornej a dolnej časti pecného voza [8].



Obrázok 2: Priečny rez pálenej krytiny, uloženej v hornej časti pecného voza [8]



Obrázok 3: Priechny rez pálenej krytiny, uloženej v dolnej časti pecného voza [8]

Redukčné alebo čierne jadro sa môže vyskytnúť aj na povrchu črepu. Táto vada môže vzniknúť v dôsledku nevhodného uloženia výsuškov na pecnom voze. Jeden z faktorov pre vznik čierneho či redukčného jadra je hrúbka črepu. V prípade, že nie je medzi dvoma výsuškami vzduchová medzera, zväčší sa celková hrúbka tohto telesa a pri nevhodnom režime výpalu je možné, že nedôjde k potrebnej difúzii kyslíka do vnútra tohto telesa [3], pozri obr. 4.



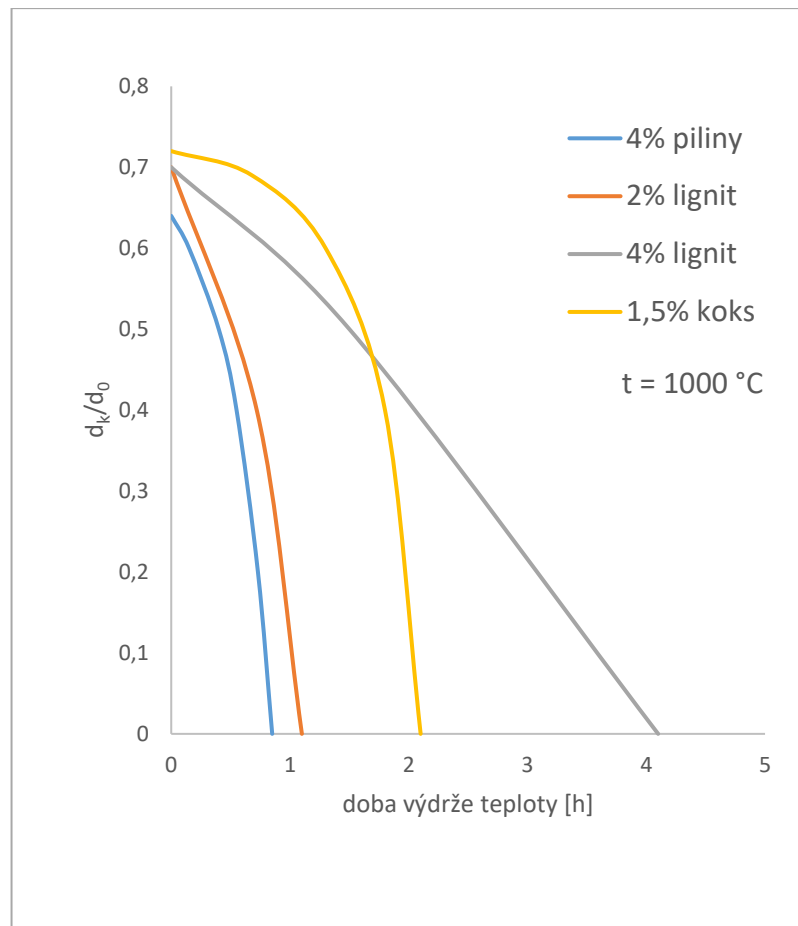
Obrázok 4: Čierne jadro na povrchu veľkorozmerových tvaroviek [3]

1.3.1.2 Druh pece

Najvhodnejšia pec pre vyhorievanie zalisovaného paliva sa javí kruhová pec. Jedná sa o súprúdový systém, umožňujúci lepší prístup kyslíku k vypaľovanému výrobku. Ďalej je možné ľahko regulovať dobu výpalu a prispôbovať ju druhu vypaľovaných výrobkov. V prípade tunelovej pece ide o protiprúdový systém, pri ktorom vyhorievanie zalisovaného paliva prebieha v prostredí spalín zo žiarového pásma pece. Optimálna podľa Lacha [7] by bola batéria vozokomorových pecí s možnosťou regulácie zloženia pecnej atmosféry, zohľadňujúca oxidačnú výdrž pri vyhorievaní a redukčné prostredie pri slinovaní mikroštruktúry črepu [7].

1.3.2 Vplyv rýchlosti zvyšovania teploty výpalu a hrúbky črepu

Vyhorievanie organických látok by malo byť dokončené do teploty 700-800 °C. Vypudzovanie CO₂ alebo O₂ pri redukcii Fe³⁺ musí byť dokončené pred slinovaním inak môže vzniknúť čierne jadro, redukčné jadro a popríklad aj nafúknutie črepu. Významný faktor ovplyvňujúci veľkosť čierneho redukčného jadra je rýchlosť nábahu teploty a hrúbka črepu. Čím je hrúbka črepu väčšia a zvyšovanie teploty rýchlejšie, tým sa zväčšuje riziko vzniku redukčného jadra. Pri dostatočnej dobe výdrže teploty pred slinutím črepu pri vyhorievaní organických látok alebo oxidácii železa môžeme zamedziť vzniku čierneho alebo redukčného jadra. Tieto poznatky sa vynasnažíme overiť pri experimentálnej časti [1].



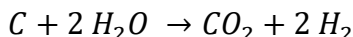
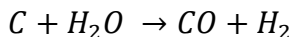
Obrázok 5: Vznik čierneho jadra v tehlovom črepe v závislosti na druhu spáliteľných látok používaných ako ľahčivo a na dĺžke izotermickej výdrže. [1]

1.3.3 Pórovitosť črepu

Pórovitosť je takisto faktor, ktorý ovplyvňuje veľkosť redukčného jadra. Nejde len o množstvo pórov v keramickom črepe. Črep musí obsahovať póry určitej veľkosti o danom množstve. Čím je viac väčších pórov, tým vzniká menšie redukčné jadro. Zvýšenou pórovitosťou v tehliarskom výrobku umožníme lepšiu difúziu kyslíka do vnútra črepu a umožníme rýchlejšiu oxidáciu železa a únik plynov. Pri určitom objeme a množstve pórov už redukčné jadro nevzniká. Bližšie vyjadrenie k danej téme je popísané pri eliminácii redukčného jadra [11].

1.3.4 Heterogénna reakcia vodného plynu

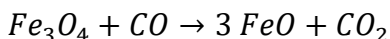
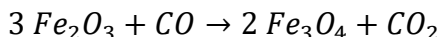
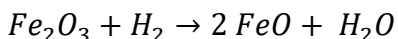
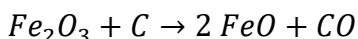
Pri nedokončenom vyhorení organických látok do počiatku dextrooxylácie ílov nastáva splyňovanie uhlíka redukciou vodnej pary. Vodná para takto pôsobí proti grafitizácii uhlíku v črepe podľa reakcie [7]:



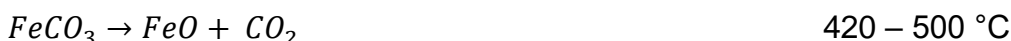
Intenzívny vývoj vodnej pary pri dehydroxylácii takisto zabráni prístupu kyslíka do črepu a množstvo organických nečistôt vo vzorkách vypaľovaných v parnom plyne pri teplotách 750 – 850 °C je 6 – 7krát vyššie [12].

1.3.5 Chemické zloženie

V chemickom zložení suroviny hrá najdôležitejšiu úlohu obsah zlúčenín železa a karbonátov. Problematiku popisujú reakcie oxidov železa so splodinami horenia, ktoré môžu v priebehu výpalu nastať [7]:



Do reakcií pri výpale vstupujú aj zlúčeniny železa:

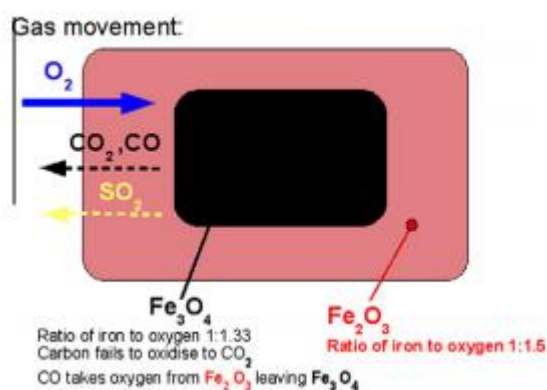


Z prítomných foriem železa má na priebeh ďalších reakcií najväčší vplyv dvojmocná forma ako FeO. Táto spolu s ďalšími oxidmi umožňuje vznik nízkotaviteľných eutektík už od teploty 650 – 700 °C. Črep sa silno obohacuje taveninou, a to hlavne pri maximálnej vypaľovacej teplote. Za prítomnosti nevyhoreteho uhlíku vytvára tavenina čierne jadro sklovitého charakteru, v ktorom je jemne rozptýlený uhlík. Ďalším negatívnym dopadom nevyhoreteho uhlíku môže byť aj to, že ak dôjde vplyvom taveniny k uzavretiu povrchu črepu, môžu potom nastať v črepe rozkladné reakcie. Z Fe₂O₃ sa

uvoľňuje kyslík a dochádza k oxidácii uhlíka. Tlak a objem týchto plynov sa vplyvom teploty niekoľkonásobne zväčšuje a spôsobuje nafúknutie. Z toho opäť vyplýva nutnosť oxidácie uhľčitých látok v črepe, tak aby sa nad teplotou 700 °C, max 800 °C už v črepe nevyskytovali [7].

K uvoľňovaniu kyslíka z Fe_2O_3 na Fe_3O_4 dochádza aj keď v surovine nie sú organické látky, avšak obsahuje veľký podiel jemných zŕn. Pri pôsobení vysokej teploty a určitého množstva tavív sa zníži pórovitosť povrchu. Do vnútra črepu sa nedostane difúzne dostatok kyslíka a vzniká redukčná premena hematitu (Fe_2O_3) na magnetit (Fe_3O_4). Vznik magnetitu sa dá eliminovať pomalším nábehom teploty počas výpalu. K nasledujúcej analógii dochádza pri vzniku redukčného jadra [13].

Oxid uhľčitý sa v črepe objavuje aj bez spaľovania uhlíku disociáciou karbonátov. Vzniknuté oxidy CaO a MgO zvyšujú teplotu tavenia a rozširujú interval slinovania črepu. Vznikajú podľa rovníc [7]:



Obrázok 6: Zjednodušený diagram procesov spôsobujúcich čierne redukčné jadro tehly. CO_2 , CO , SO_2 a vodné pary sú plyny, ktoré vznikajú pri spaľovaní hliny [13].

2 Vplyv redukčného jadra na vlastnosti črepu

Z publikovaných výsledkov je známe, že redukčné jadro vo vypálenom črepe zvyšuje celkovú pórovitosť, znižuje objemovú hmotnosť, čo priamo súvisí s pórovitosťou. Takisto je známe, že nasiakavosť varom a zdanlivá pórovitosť je u črepov s redukčným jadrom väčšia [9], ale nie je známe či je rovnaká spojitosť aj u nasiakavosti pri atmosférickom tlaku alebo nasiakavosti zistenej vo vákuu pri neprerezaných vzorkách. Skúšky Prof. Švedu totiž boli vykonávané na prerezaných vzorkách, kedy mala voda lepší prístup k redukčnému jadru. Pre ozrejmienie, či sa dosiahnu rovnaké výsledky pri neprerezaných vzorkách sa v praktickej časti vykonajú spomenuté skúšky. Tabuľky 1-3 prezentujú poznatky Prof. Švedu [9]. Zdanlivá pórovitosť a nasiakavosť varom sa merala na rozrezaných vzorkách, kvôli objektívnosti výsledkov.

Tabuľka 1: Vplyv uloženia pálenej krytiny na pecnom voze na jeho vybrané fyzikálne vlastnosti – črep takmer bez čierneho jadra [9]

Vlastnosti	Poloha pálenej krytiny na pecnom voze	
	Horná časť	Dolná časť
Nasiakavosť varom [%]	9,2	11,6
Zdanlivá pórovitosť [%]	18,0	22,2
Objemová hmotnosť [kg/m ³]	1957	1914

Tabuľka 2: Vplyv uloženia pálenej krytiny na pecnom voze na jeho vybrané fyzikálne vlastnosti – črep s výrazným čiernym jadrom [9]

Vlastnosti	Poloha pálenej krytiny na pecnom voze	
	Horná časť	Dolná časť
Nasiakavosť varom [%]	13,1	11,9
Zdanlivá pórovitosť [%]	24,4	22,6
Objemová hmotnosť [kg/m ³]	1869	1901

Tabuľka 3: Vplyv uloženia pálenej krytiny na pecnom voze na jeho vybrané fyzikálne vlastnosti čierneho jadra a povrchovej vrstvy [9]

Vlastnosti	Poloha pálenej krytiny na pecnom voze			
	Horná časť		Dolná časť	
	Jadro	Povrchová vrstva	Jadro	Povrchová vrstva
Objem pórov [cm^3/g]	157,5	120,5	144,5	127,3
Medián polomeru pórov [nm]	542,3	481,1	467,8	475,9
Celková pórovitosť [%]	27,4	23,6	27,0	24,2
Objemová hmotnosť [kg/m^3]	1740	1956	1867	1903

Z tabuliek 1 a 2 je vidno, že podstatný vplyv na sledované vlastnosti malo uloženie výrobkov na pecnom voze. Črepy s výrazným redukčným jadrom vykazovali väčšiu pórovitosť. Pórovitosť sa hromadila hlavne v oblasti čierneho redukčného jadra. Takisto sa s ním zväčšuje aj nasiakavosť varom. Tieto výsledky boli potvrdené aj ortuťovou tlakovou porozimetriou pri stanovení objemu pórov samotného čierneho redukčného jadra a povrchovej vrstvy [9].

Výskyt redukčného jadra je problémom hlavne u pálených strešných tašiek. Pri spomenutých taškách sa kladie dôraz hlavne na mrazuvzdornosť a presiakavosť črepu. K presiakavosti strešnej krytiny s redukčným jadrom sa nevyjadruje žiadna známa publikácia, a preto sa v praktickej časti pokúsime ozrejmiť ako vplýva výskyt redukčného jadra vo vypálenom črepe na presiakavosť črepu. Vplyv redukčného jadra na mrazuvzdornosť črepu je popísaný kapitole 2.1

2.1 Vplyv redukčného jadra na mrazuvzdornosť črepu

Vzorky s redukčným jadrom a bez redukčného jadra sa získavajú odlišnou rýchlosťou nábehu teploty počas výpalu. Zmrazovanie a rozmrazovanie prebieha rozmerovo na jednotných vzorkách. Pri porovnávaní mrazuvzdornosti sa vzorky podrobujú zmrazovacím cyklom a pri spozorovaní prvej trhliny, odlúpnutia alebo iného poškodenia sa zaznamená počet cyklov, po ktorých došlo k porušeniu črepu.

Najnovšie poznatky o vplyve pórovej štruktúry na mrazuvzdornosť tehliarskeho črepu poukazujú, že mrazuvzdornosť ovplyvňuje nielen objem pórov, ale aj medián polomeru pórov [15]. Tvrdenie platí len ak je črep vypálený po celom jeho priereze rovnomerne, čiže má rovnakú štruktúru. Merania pórovej štruktúry redukčného jadra a obalovej vrstvy však ukázali, že objem a medián polomeru pórov sa líši a to viac, čím bola vyššia vypaľovacia teplota [9].

Dôležitú úlohu pri riešení daného problému zohrali aj výsledky výskumu Seaversona a Brosmana [16]. Autori zistili, že zmenou pórovej štruktúry sa dosiahnu rôzne reziduálne expanzie nasiaknutého črepu po jeho zmrazovacích cykloch. Čiže ak máme k dispozícii dva vodou nasiaknuté črepy s rôznou pórovou štruktúrou, môžeme pri zmrazovacích a rozmrazovacích cykloch očakávať rôzne objemové zmeny črepov. Z toho vyplýva, že k podobnému efektu by malo dochádzať aj v pálenej krytine s redukčným jadrom v procese zmrazovania – rozmrazovania [10].

Skúšaním pálenej krytiny s redukčným jadrom na mrazuvzdornosť sa zaoberali Berthold a Thiede [17]. Autori zistili, že pálená krytina s redukčným jadrom nevyhovela na mrazuvzdornosť podľa normy DIN 52 253, časť 2. Pálená krytina bez redukčného jadra vyhovela na mrazuvzdornosť. Berthold a Thiede konštatujú, že nízka mrazuvzdornosť pálenej krytiny s redukčným jadrom je zapríčinená [10]:

- rozdielnym stupňom slinutia
- rozdielnym koeficientom dĺžkovej rozťažnosti
- a rozdielnou nasiakavosťou medzi jadrom a povrchovou vrstvou pálenej krytiny.

Títo autori ďalej uvádzajú, že v pálenej krytine vzniká pri zmrazovaní a rozmrazovaní napätie a následne trhlina na základe rôznej dĺžkovej rozťažnosti medzi jadrom a povrchovou vrstvou krytiny. Trhlina vzniká v časti krytiny, ktorá je viac slinutá [10].

Pri výskume mrazuvzdornosti na Stavebnej fakulte v Bratislave sa porovnávali črepy s redukčným jadrom a bez neho. Mrazuvzdornosť črepu ovplyvňuje predovšetkým prítomnosť redukčného jadra v črepe, výška vypaľovacej teploty a celistvosť. [10].

Tabuľka 4 zobrazuje mrazuvzdornosť črepov s redukčným a bez redukčného jadra pri rôznej teplote výpalu. Takisto je vidno aj porovnanie prerezaných a celých vzoriek.

Tabuľka 4: Vznik prvej trhliny na skúšobných vzorkách vypálených pri troch rôznych vypaľovacích teplotách [10]

Teplota výpalu [°C]	Tvar skúšobnej vzorky	počet zmrazovacích cyklov na vzorke s redukčným jadrom	počet zmrazovacích cyklov na vzorke bez redukčného jadra
900	prerezaná	20	60
	celá	120	200
1000	prerezaná	80	110
	celá	200	250
1060	prerezaná	170	>300
	celá	>300	>300

Trhliny v pálenej krytine s redukčným jadrom sa vyskytujú len v povrchovej vrstve. Sú viditeľné blízko rozhrania redukčného jadra a povrchovej vrstvy a sú vždy rovnobežné s dlhšou stranou skúšobných vzoriek. Pri podrobnom sledovaní prerezaných vzoriek sa zistilo, že trhliny sa vyskytli len v povrchovej vrstve [10], pozri obrázok 7.



Obrázok 7: Detail lomovej plochy pálenej krytiny s redukčným jadrom v jeho okrajovej oblasti [10]

Zo spomenutých informácií sa môže konštatovať, že mrazuvzdornosť pálenej krytiny s redukčným jadrom je ovplyvnená rozdielnou pórovou štruktúrou medzi jadrom a povrchovou vrstvou. Z tejto skutočnosti vzniká reziduálna expanzia medzi jadrom a povrchovou vrstvou črepu v procese zmrazovania a rozmrazovania. Dôsledkom tejto expanzie sa v črepe aktivuje ťahové napätie a následne sa objavuje trhlina. Je potrebné poukázať aj na fakt, že trhlina sa vytvára skôr u prerezaných vzoriek a to aj na vzorkách bez redukčného jadra. Táto skutočnosť poukazuje na fakt, že na povrchu vzoriek vznikla tzv. ochranná povrchová fólia, ktorej porušením dochádza k poklesu mrazuvzdornosti [10].

3 Eliminácia redukčného jadra

Redukčné jadro môžeme odstrániť dvoma spôsobmi. Prvý spôsob je popísaný v odbornej literatúre, kedy zvýšime prísadami pórovitosť keramického črepu, a tým prístup kyslíka do vnútra črepu. Druhý spôsob sa pokúsime dokázať v experimentálnej časti, kde zamedzíme vzniku redukčného jadra znížením rýchlosti nábehu teploty pri výpale [9].

3.1 Eliminácia pomocou prísady

Požiadavka aplikácie prísad pre elimináciu redukčného jadra vzniká hlavne z ekonomického hľadiska. Spomalenie rýchlosti nábehu teploty počas výpalu totiž znižuje produktivitu. Aplikácia prísady by mohla odstrániť vznik redukčného jadra počas výpalu a pritom zachovať rovnakú rýchlosť pálenia.

Ak je potrebné získať keramický črep bez redukčného jadra pri zachovaní:

- doterajších základných surovín
- doterajšieho režimu výpalu
- doterajšej nasiakavosti črepu, prípadne aj nižšej

Je potrebné zvýšiť difúziu plynov medzi jadrom a povrchom črepu. Na to aby sa zvýšila difúzia, je potrebné zvýšiť pórovitosť a objem pórov. Podľa Prof. Švedu sa to dá docieľiť aplikáciou chemickej prísady Vuppor alebo Vuptav, o ktorých je známe, že v tehliarskom črepe dokážu zvýšiť

objem, medián polomeru pórov a súčasne zlepšujú ich vzájomné prepojenie [9]. Druhý spôsob je aplikácia ostriva. Jej aplikáciou sa zníži dĺžková zmena sušením, zvýši sa objem pórov a vytvorí sa prepojenie zo sietí mikrotrhlín počas sušenia, čo zlepši difúziu medzi jadrom a povrchom [14].

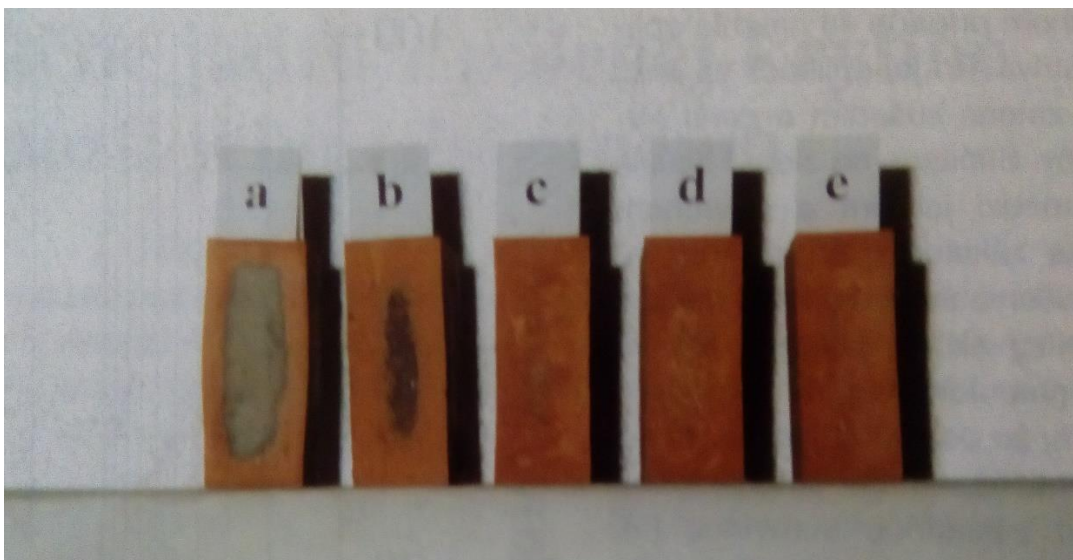
3.1.1 Aplikácia chemických prísad

Pri použití prísady na zlepšenie prepojenia sa používa Prísada Vuppor. Jedná sa o povrchovo – inaktívnu emulziu bielej farby vyrobenej na báze kondenzátov aldehydov. Jej hustota býva cca 1100 kg/m^3 a obsah sušiny 37 – 40 %. Do tehliarskej zeminy sa môže pridávať v rôznych fázach jej technologickej úpravy. Táto prísada umožňuje zvýšiť množstvo vody v plastickom ceste pri zachovaní konštantnej plasticity cesta. Je hygienicky nezávadná a v procese sušenia a pálenia nevznikajú škodlivé produkty [9].

Pomocou tejto prísady sa zlepši difúzia plynov medzi jadrom a povrchom črepu, ktorá zlepši vzájomné prepojenie pórov a zvýši medián polomeru pórov. Výsledky s touto prísadou, ktorá umožňuje zvýšiť nielen pracovnú vlhkosť cesta pri jej konštantnej plasticite, ale aj vyššie uvedené podmienky, je vidno na obrázku 8. Dosiahnuté výsledky poukazujú na skutočnosť, že už pri dávke 0,3 % Vupporu na tehliarsku surovinu sa získal črep bez redukčného jadra. V tabuľke 5 sú prezentované vlastnosti črepu pri rôznych dávkach prísady [9].

Tabuľka 5: Vplyv prísady Vuppor na vybrané fyzikálne vlastnosti skúšobných vzoriek pri zníženej plasticite cesta (Pfefferkorn = 36 mm) [9]

Vlastnosti	Dávka prísady Vuppor [%]				
	0	0,2	0,3	0,4	0,6
Pracovná vlhkosť [%]	21,50	23,30	23,72	24,09	24,90
Dĺžková zmena sušením [%]	-5,07	-5,76	-5,93	-6,02	-6,12
Dĺžková zmena pálením [%]	-1,10	-1,20	-1,36	-1,45	-1,56
Strata hmotnosti pálením [%]	8,62	8,65	8,66	8,67	8,80
Nasiakavosť varom [%]	11,99	10,39	10,99	11,92	13,15
Zdanlivá pórovitosť [%]	22,60	20,19	21,36	22,86	24,71
Objemová hmotnosť [kg/m^3]	1885	1943	1943	1918	1879



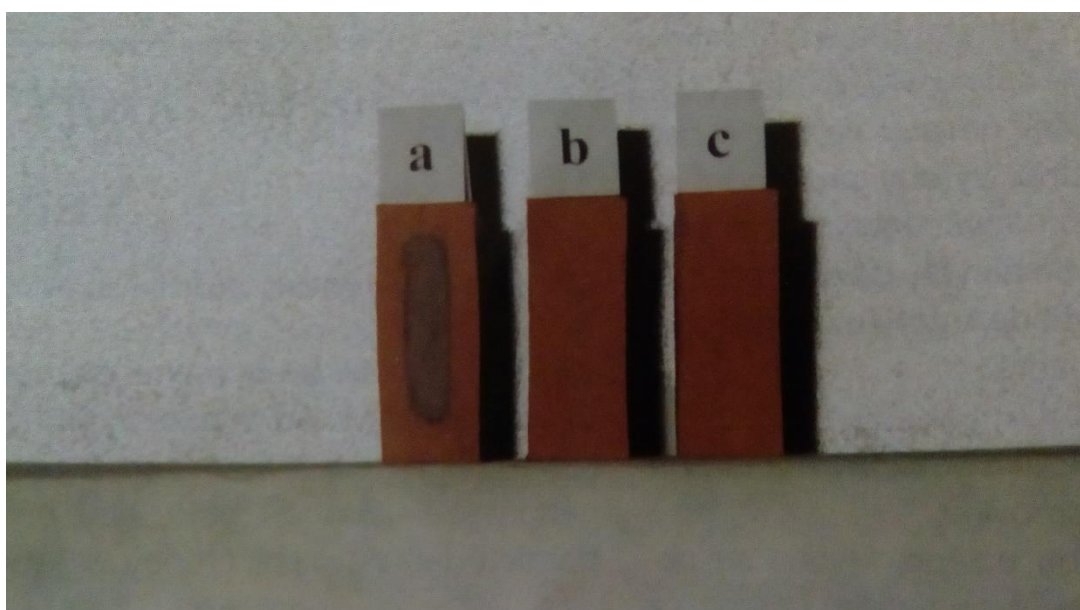
Obrázok 8: Skúšobné vzorky po vypálení pri konštantnej vypaľovacej teplote 960 °C. Dávka prísady Vuppor: a – 0 %, b – 0,2 %, c – 0,3 %, d – 0,4 %, e – 0,6 % [9]

3.1.2 Aplikácia ostriva

Druhá alternatíva na zlepšenie difúzie plynov medzi jadrom a povrchom črepu je aplikácia pomletého výmetu z vlastnej alebo inej výroby. Výmet pôsobí ako ostrivo. Pri jeho aplikácii sa zníži dĺžková zmena sušením a zvýši objem pórov. Súčasne sa zlepší difúzia plynov medzi jadrom a povrchom črepu na základe predpokladu, že počas sušenia sa vytvorí sieť malých mikrotrhlín, ak je použité ostrivo hrubšej granulometrie. Je to spôsobené tým, že sa ostrivo počas sušenia už nezúčastňuje zmrašťovania spolu so základnou surovinou. Použité ostrivo musí byť hrubšej granulometrie. Ako ostrivo sa tiež môže použiť kremičitý piesok [9]. Na získanie črepov z vlastného výmetu sa môžu použiť výrobky, ktoré obsahujú veľmi málo alebo žiadne redukčné jadro. Vybrané črepy sa melú a následne sú preosiate na cez sito 2 mm. V odbornej literatúre sa uvádza, že už pri aplikácii dávky 5 % vlastných výmetov sa získa črep bez redukčného jadra, pozri obrázok 9. V tabuľke 6 sú prezentované vlastnosti črepu pri rôznych dávkach pomletých črepov.

Tabuľka 6: Vplyv črepov z vlastného výmetu na vybrané fyzikálne vlastnosti skúšobných vzoriek (Pfefferkorn = 32 mm) [9]

Vlastnosti	Dávka črepov z vlastného výmetu [%]		
	0	0,2	0,3
Pracovná vlhkosť [%]	24,50	23,25	23,06
Dĺžková zmena sušením [%]	-6,25	-6,01	-5,40
Dĺžková zmena pálením [%]	-1,12	-1,18	-1,22
Strata hmotnosti pálením [%]	8,70	8,21	7,82
Nasiakavosť varom [%]	10,02	10,74	12,82
Zdanlivá pórovitosť [%]	19,24	20,73	23,83
Objemová hmotnosť [kg/m ³]	1920	1930	1908



Obrázok 9: Skúšobné vzorky po vypálení pri konštantnej vypaľovacej teplote 960 °C. Dávka pomletých črepov: a – 0 %, b – 5 %, c – 10 % [9]

3.1.3 porovnanie vlastností pri použití prísad

Technologickými zmenami pomocou spomenutých prísad dokážeme zlepšiť difúziu plynov v tehliarskom črepe. V prvom prípade je to použitím prísady Vuppor do tehliarskeho ílu, ktorej optimálna dávka by mala byť 0,3 % sušiny na hmotnosť vysušenej zeminy. V druhom prípade je to použitie pomletých črepov, kde optimálna dávka predstavuje 5 % hmot. na hmotnosť vysušenej zeminy. Použitím týchto prísad v daných dávkach sa získa črep bez čierneho redukčného jadra a takisto nasiakavosť a zdanlivá pórovitosť

vykazuje nižšie hodnoty ako u črepov s redukčným jadrom. Existuje aj predpoklad, že zvýšením vypaľovacej teploty by sa umožnilo získať krytinu o výrazne nižšej nasiakavosti a zdanlivej pórovitosti bez vzniku redukčného jadra. Z odbornej práce je možné konštatovať, že aplikácia prísady Vuppor, prípadne pomletých črepov z vlastného výmetu sú vhodnými alternatívami, ako skvalitniť pálenú krytinu ak počas výpalu vzniká redukčné jadro [9]. V tabuľke 7 sú vypísané ďalšie možné prírodné a chemické prísady, ktorými sa dá doceliť črep bez redukčného jadra [11].

Tabuľka 7: Prírodné a chemické prísady [11]

Označenie	Názov	Dávkovanie [% hmot.]	poznámky
p	piesčitý prach	5	povodie rieky Moravy, lokalita Kostolište
vl	Vupsal	0,5*	komerčný výrobok, vodný roztok, VUP a. s. Prievidza
vv	Vuptav**	0,5*	priemyselná druhotná surovina, vodný roztok, VUP a. s. Prievidza
o	zeolitové odprašky	15	priemyselná druhotná surovina, ZEOCEM, a. s. Bystré

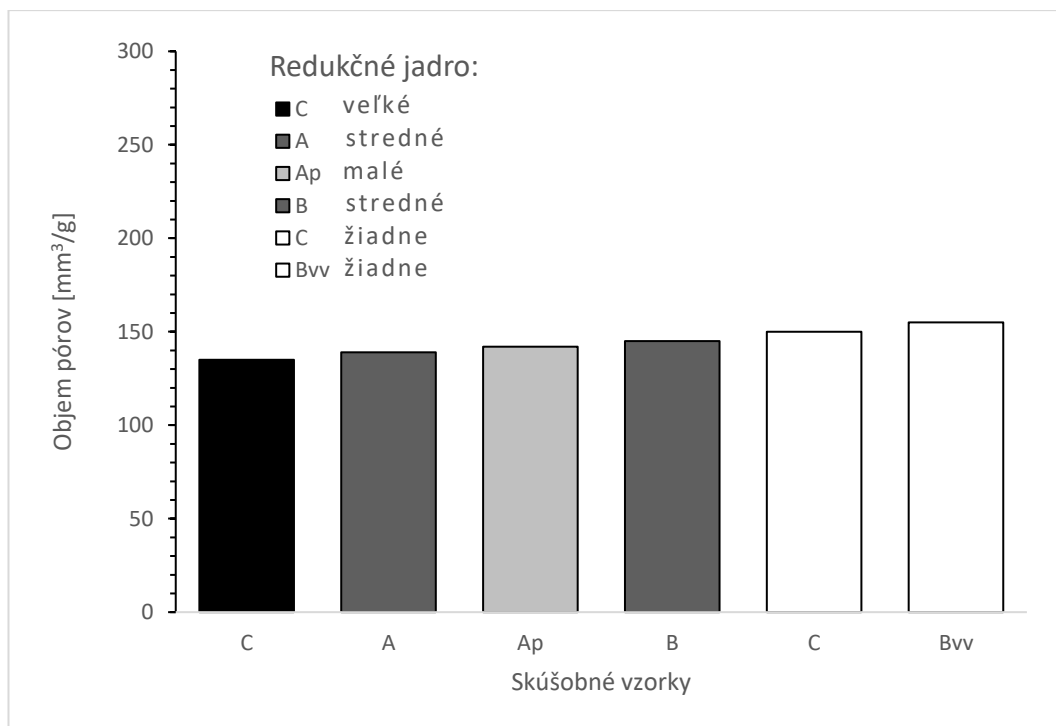
*Dávkovanie v % hmotnosti sušiny roztoku na hmotnosť základnej suroviny.

**Vedľajší produkt vznikajúci pri redukcii trifenyfosfínoxidu na trifenyfosfín.

3.1.4 Vplyv pórovej štruktúry na elimináciu redukčného jadra

V tejto časti je popísané ako ovplyvňuje veľkosť redukčného jadra pórovitosť črepu, a pri akej pórovitosti a objemu pórov sa už redukčné jadro pri výpale nevytvára.

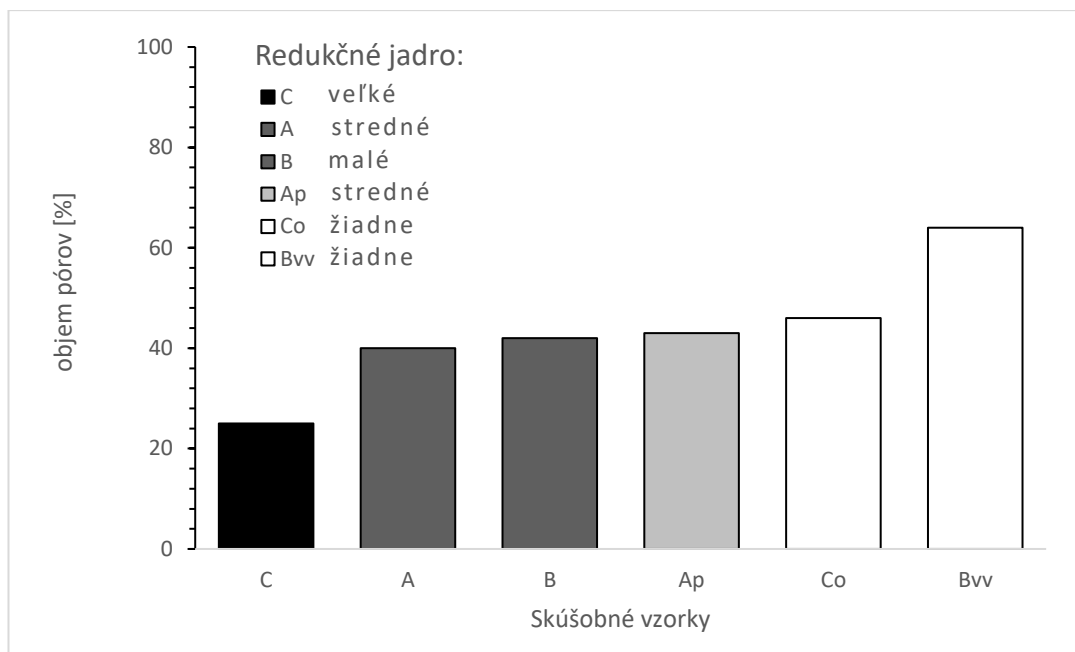
Odborná literatúra uvádza, že nie je priama korelácia medzi pórovou štruktúrou povrchovej vrstvy črepu a veľkosti redukčného jadra. Na obrázku 10 je vyobrazený graf, kde je vidno, že veľkosť redukčného jadra nie je závislá na celkovom objeme pórov v mm³/g [11].



Obrázok 10: Závislosť veľkosti redukčného jadra od celkového objemu pórov v povrchovej vrstve črepu [11]

Z podrobnej analýzy vzťahov medzi distribučnými krivkami pórov povrchovej vrstvy a veľkosťami redukčných jadier sa zistilo, že veľkosť redukčného jadra je výrazne ovplyvnená pórovou štruktúrou povrchovej vrstvy črepu aj granulometriou suroviny. Všetky vzorky, ktoré obsahujú viac ako 46 % pórov väčších ako 335 nm už nevykazujú redukčné jadro. Naopak vzorky, ktoré majú množstvo týchto pórov o danej veľkosti menej ako 46 % obsahujú redukčné jadro určitej veľkosti. Čím je objem väčších pórov menší, tým je veľkosť redukčného jadra väčšia. Samozrejme, že sekundárnu úlohu zohráva aj celkový objem pórov [11].

Obrázok 11 zobrazuje graf, kde je viditeľné ako sa mení veľkosť redukčného jadra pri rozdielnom objeme pórov o polomere väčšom ako 335 nm. [11].



Obrázok 11: Závislosť veľkosti redukčného jadra od percentuálneho podielu pórov v povrchovej vrstve črepu väčších ako 335 nm [11]

II. Experimentálna časť

Cieľom praktickej časti je:

- Získať informácie o vplyve redukčného jadra na vlastnosti, ktoré zatiaľ neboli publikované. Jedná sa hlavne o presiakavosť, dĺžkovú teplotnú rozťažnosť a pevnosti v ohybu
- Overiť poznatky mrazuvzdornosti a pórovitosti
- Overiť možnosť laboratórnej prípravy črepov s odlišne vyvinutým redukčným jadrom pomocou úpravy páliacej krivky
- Porovnať vlastnosti laboratórne pripravených vzoriek s rôzne vyvinutými redukčnými jadrami na základe odlišne vedeného výpalu a rôznej hrúbky črepu.
- Posúdiť rozdiel medzi redukčným jadrom a črepom

4 Metodika práce

Metodika postupu prác vychádzala z požiadavky získať vzorky s rôzne vyvinutým redukčným jadrom a porovnať ich vlastnosti. Zisťoval sa aj vplyv hrúbky vzorky. Rôzne vyvinutá veľkosť redukčného jadra bola docieľená odlišnou rýchlosťou nábehu teploty počas výpalu. V elektrickej peci sa vyskytovalo oxidačné prostredie a vzorky boli od seba vzdialené približne rovnakú vzdialenosť aby sa zamedzilo vplyvu uloženia.

V rámci výskumu boli dovezené výlisky (plástve) zo závodu v Hraniciach. Plástve boli vyrobené na šnekovom lise tehliarskou technológiou. Surovina obsahuje vysoký podiel CaCO_3 . Častým problémom pri vysokom obsahu vápenatých zlúčenín je vznik cicváru. Jedná sa o škodlivinu, ktorá sa prejavuje odlúpnutím časti povrchu prvku. Technologicky je možné eliminovať vznik cicváru jemnosťou mletia [18]. týmto technologickým riešením docielime viac jemných zŕn v surovine, čo sa negatívne môže odzrkadliť vznikom redukčného jadra počas výpalu.

Vývojový diagram zobrazuje ako sa postupovalo pri skúšaní vzoriek

4.1 Vývojový diagram



4.2 Príprava vzoriek

Z dovezených plástov sa narezali kusy suroviny a metódou ručného stĺkania do kovovej formy sa vytvorili tehličky o rozmeroch 100 x 50 x 20 mm a 100 x 50 x 30 mm. Z obidvoch veľkostí sa vytvorilo 10 vzoriek. Zo zostatkovej suroviny boli vytvorené dva trámiky pre skúšku DKTA. Po vytvorení sa všetky vzorky označili a nechali sa vysušiť najprv pri laboratórnej teplote, a potom v laboratórnej sušiarni pri teplote 110 °C do konštantnej hmotnosti.

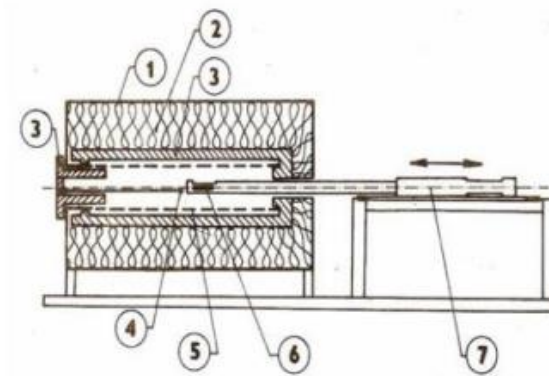
Po vysušení sa vzorky zvažili, zmerali a postúpili ďalej k výpalu. Zvolili sa 3 rýchlosti nábehu teploty 1 °C/min, 2°C/min a 3°Cmin. Pri každej rýchlosti sa skúšalo 6 vzoriek dvoch rozdielnych hrúbok. Vypaľovanie prebiehalo na konečnú teplotu 1060 °C. Po výpale bolo viditeľné nafúknutie hrubších vzoriek už pri 2 °C/min, a preto sa ešte vypálili zostatkové dve vzorky rôznych hrúbok pri rýchlosti nábehu teploty 0,5 °C/min. Počas výpalu v peci sa vykonala kontrakčne dilatačne termická analýza (DKTA) na zvlášť vytvorených trámikoch. Boli vytvorené 2 trámiky vo forme s rozmermi 20 x 20 x 100 mm.

4.3 Vykonávané skúšky

4.3.1 Kontrakčne dilatačne termická analýza (DKTA)

Pomocou DKTA sa pozorujú lineárne zmeny črepu v závislosti na teplote. V priebehu ohrievania a ochladzovania vzorky dochádza k nevratným zmenám, ktoré vznikajú ako dôsledok fyzikálnych a chemických procesov. DKTA sa tiež používa ako podklad pre určenie páliacich kriviek. Páliaca krivka sa upravuje aby nedošlo vplyvom napätia k porušeniu vzorky. Meracie zariadenie dilatometer tvorí snímaciu časť so vzorkou. Vzorka so snímacím nástavcom je umiestnená v pecnom telese. Vo vnútornom priestore je ďalej nainštalovaný regulačný termočlánok. Snímací nástavec spolu s elektronickým nástavcom tvorí vlastný merací prvok dilatometru. Vzorky sa pripravujú najčastejšie v podobe tyčínok, ale záleží od typu použitého prístroja.

V našom prípade boli skúšané 2 vzorky pri rýchlosti nábehu teploty 3°C/min a 5°C/min v rozmedzí teplôt 35 až 1060 °C. Z výsledného grafu sa môže usúdiť vplyv rýchlosti výpalu na rozťažnosť črepu.



Obrázok 12: Príklad usporiadania dilatometru: 1 – ocelový plášť, 2 – izolácia, 3 – šamotové izolačné teleso, 4 – regulačný termočlánok, 5 – cussilitové topné teleso, 6 – snímací nástavec so vzorkou, 7 – elektronický snímač [19]

4.3.2 Stanovenie dĺžkovej zmeny

Podľa normy ČSN 72 1565-5

Z dĺžkových zmien sa môže usudzovať zmrštenie tehliarskych črepov v závislosti na rýchlosti náběhu teploty pri výpale a veľkosti redukčného jadra. Po výpale sa zmerali vzorky a zo zmeny dĺžok po sušení a po výpale sa vypočítala dĺžková zmena sušením, pálením a celková.

Dĺžková zmena sušením:

$$DS = \frac{l_s - l_z}{l_z} \cdot 100 [\%]$$

Dĺžková zmena pálením:

$$DP = \frac{l_p - l_s}{l_s} \cdot 100 [\%]$$

Celková dĺžková zmena:

$$DC = \frac{l_p - l_z}{l_z} \cdot 100 [\%]$$

l_zdĺžka vzorky po vybratí z formy [mm]

l_sdĺžka vzorky po vysušení [mm]

l_pdĺžka vzorky po výpale [mm]

4.3.3 Strata hmotnosti pálením

Podľa normy ČSN 72 1565-6

Skúšobné vzorky boli zvážené pred a po výpale. Stratu žíhaním vypočítame podľa vzťahu:

$$ZP = \frac{m_s - m_p}{m_p} \cdot 100 [\%]$$

m_shmotnosť vzorky po vysušení [kg]

m_phmotnosť vzorky po výpale [kg]

4.3.4 Nasiakavosť pri atmosférickom tlaku

Podľa normy ČSN 72 1565-6

Vypálené vzorky boli zvážené a umiestnené do misky s vodou po dobu 24 h. Po danej dobe sa vzorky otreli vlhkou handrou a zistila sa hmotnosť po nasiaknutí. Nasiakavosť sa vypočíta podľa vzťahu:

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100 [\%]$$

m_shmotnosť skúšobnej vzorky po vysušení [kg]

m_nhmotnosť skúšobnej vzorky po nasiaknutí vodou [kg]

4.3.5 Nasiakavosť vákuovou metódou

Podľa normy ČSN EN ISO 10545 – 3

Vypálené vzorky sa po skúške nasiakavosti pri atmosférickom tlaku umiestnili do exsikátoru tak aby sa nedotýkali. Potom sa odsaje vzduch aby bolo dosiahnuté vákuum. Po odsatí vzduchu sa napustila do exsikátoru voda, tak aby boli vzorky 5 cm pod hladinou. Po 20 minútach sa otvorí kohútik, ktorým pustíme do exsikátoru vzduch. Potom sa vzorky odoberú z nádoby, otrú suchou handrou a zvážia. Nasiakavosť sa vypočíta podľa rovnakého vzťahu ako pri atmosférickom tlaku.

4.3.6 Objemová hmotnosť

Podľa normy ČSN 72 1565-6

Objemová hmotnosť udáva hmotnosť črepu vrátane dutín a pórov na jednotku objemu. Stanovíme ju z rozmerov a hmotnosti vysušenej vzorky pri pravidelnom tvare črepu. Pri nerovnomernej vzorky je presnejšie stanovenie z hydrostatického váženia a z hmotnosti nasiaknutej vzorky. Pri objemovej hmotnosti vysušených vzoriek sme použili výpočet z rozmerov a pri vypálenom črepe druhý spôsob.

Hydrostatické váženie sa vykonáva po skúške nasiakavosti vákuovou metódou. Skúšobné vzorky sa vyberú z exsikátoru a vložia sa do misky s vodou. Váženie prebieha na hydrostatických váhach. Nasýtené vzorky sa zavesia na pomocnú konštrukciu a ponoria sa do vody, tak aby sa nedotýkali stien nádoby, a aby bola celá vzorka pod vodou. Následne sa odčíta hmotnosť m_{nw} . Po odvážení vzorky hydrostaticky sa otrie vlhkou handrou a zváži na vzduchu. Výpočet podľa vzťahov:

Objemová hmotnosť vysušenej vzorky:

$$OH = \frac{m_s}{V} [kg/m^3]$$

Objemová hmotnosť vypálenej vzorky:

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot \rho_v [kg/m^3]$$

m_{nv}hmotnosť skúšobnej vzorky hydrostaticky zváženej [kg]

ρ_v hustota vody [kg/m³]

Vobjem skúšobnej vzorky [m³]

4.3.7 Zdanlivá pórovitosť

Podľa normy ČSN 72 1565-6

Zdanlivá pórovitosť udáva pomer objemu otvorených pórov k celkovému objemu vzorky vrátane pórov. Skúšku vykonávame spoločne so stanovením objemovej hmotnosti a nasiakavosti. Výpočet podľa vzťahu:

$$PZ = \frac{m_n - m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot 100 [\%]$$

4.3.8 Zdanlivá hustota

Zdanlivá hustota nám udáva hmotnosť vypálenej vzorky na jednotku objemu vrátane uzavretých pórov. Vzorky sa vážia hydrostaticky. Výpočet podľa vzťahu:

$$ZH = \frac{m_s}{m_s - m_{nv}} \cdot \rho_v [kg/m^3]$$

4.3.9 Stanovenie presiakavosti

Nepresiakavosť je veľmi dôležitá u pálených strešných tašiek, a preto je dôležité zistiť ako redukčné jadro, ktoré u týchto tašiek môže vzniknúť, ovplyvňuje túto vlastnosť.

Presiakavosť pálených strešných tašiek sa podľa normy ČSN EN 539 – 1 skúša dvoma možnými metódami. Prvá metóda spočíva v stanovení množstva vody, ktoré presiakne 1 cm² povrchu keramického črepu za 48 hodín. Výsledná hodnota sa nazýva faktor presiakavosti. Výpočet podľa vzťahu:

$$IF = \frac{V_1 - V_2}{A \cdot 2} \left[\frac{cm^3}{cm^2 \cdot deň} \right]$$

V₁.....objem vody, ktorý presiakne za 2 dni [cm³]

V₂.....objem vody, ktorý sa odparí za 2 dni [cm³]

A.....priemerná plocha skúšobného telesa [cm²]

Druhá metóda stanovuje dobu, kedy presiakne prvá kvapka vody pri pôsobení vody na povrch tašky. Zo stanovenej doby sa ďalej vypočíta faktor presiakavosti podľa vzťahu:

$$IC = \frac{20 - X_l}{20} [h]$$

X_l..... doba, za ktorú odkvapne prvá kvapka z tašky [h]

Pre skúšanie presiakavosti bola použitá upravená skúška. Skúška bola vykonávaná na 4 vypálených vzorkách. Každá sa vyznačovala osobitnou rýchlosťou nábehu teploty pri výpale. Konkrétne sa jednalo o rýchlosti 0,5 °C/min, 1 °C/min, 2 °C/min, 3 °C/min. Nasiaknuté vzorky sa vysušili a uložili po dobu aspoň 20 hodín pri laboratórnej teplote 15 – 30 °C a relatívnej vlhkosti 30 %. Pomocou silikónového lepidla sa nalepila plastová nádoba na povrch vzorky. Lepidlo sa nechalo pôsobiť po dobu 24 hodín. Spodná strana vzorky sa položila na uzavretú nádobu s na ktorej boli umiestnené elektródy. Na povrch vzorky do hornej nádoby sa naliala voda. Voda na črep pôsobila tlakom vodného stĺpca. Pri presiaknutí vzorky došlo k vychýleniu, ktoré bolo zaznamenané v PC. Následne sa stanovil čas presiaknutia.

4.3.10 Stanovenie vzlínavosti

Pri styku neslinutého črepu s kvapalinou začne kvapalina účinkom kapilárnych síl vnikáť do otvorených pórov a to i proti pôsobeniu gravitačnej sily. Táto vlastnosť sa označuje ako vzlínavosť (VZ). Rýchlosť vzlíňania závisí hlavne na priemere kapilár (na stupni slinutia) a na vlastnostiach kvapaliny. Rozdielnosť v rýchlosti vzlíňania pri rôznom usporiadaní pórov sa prejaví, ak sú v črepe takmer nepostrehnuteľné mikrotrhlínky, ktoré črep znehodnocujú. Týmito trhlínkami vzlíňa kvapalina rýchlejšie, ako ostatnými kapilármi. Skúška na zistenie vzlínavosti sa vykonáva aj ako nepriama metóda na zistenie presiakavosti (čím rýchlejšie voda vzlíňa, tým je väčšia presiakavosť črepu) - medznou hodnotou je vzlinutie 50 mm/90 min.

Na zadnú stranu tehličky sa nakreslí meradlo. Tehličky sa postavia na výšku do misky s vodou o výške hladiny 10 mm. Zaznamenáva sa hodnota každé dve minúty. Po 90 minútach sa určí kritérium presiakavosti.

4.3.11 Stanovenie mrazuvzdornosti

Priame metódy stanovenia mrazuvzdornosti tehliarskych črepov sú založené na princípe opakovaného zmrazovania a rozmrazovania vzoriek. Mrazuvzdornosť sa zisťuje na vodou nasiaknutých vzorkách. Pálené strešné

tašky musia vyhovieť na mrazuvzdornosť podľa normy ČSN EN 539-2. Pre Českú republiku platí, že musí vyhovieť 150 zmrazovacím a rozmrazovacím cyklom. Po vykonanej skúške sa následne kontroluje vzhľad vzoriek. Pri výskyte praskliny, lomu alebo odlupovania, tehliarsky črep nevyhoví skúške mrazuvzdornosti. Nevýhodou skúšky je jej časová náročnosť.

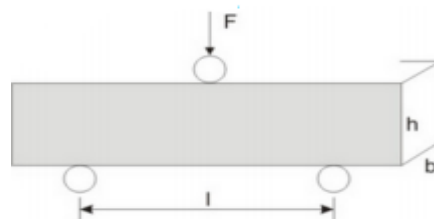
V našom prípade boli skúšané hrubšie vzorky s rôzne vyvinutým redukčným jadrom podľa normy ČSN 72 1565-14. Vzorky sa uložili do vody na 24 hodín, otreli sa vlhkou handrou a vložili sa do zmrazovacieho zariadenia na dobu 6 hodín pri teplote $-20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Ďalej sa vzorky vybrali a vložili sa na 2 hodiny do vody o teplote $15 - 30\text{ °C}$. Cykly sa opakovali. Vzorky sa skúšali na maximálny počet cyklov 25. Tie, u ktorých došlo k porušeniu sa označia ako nemrazuvzdorné. Ako mrazuvzdorné sa označia vzorky, ktoré po 25 cykloch nejavia známku porušenia a ich pevnosť v ťahu za ohybu sa po ukončení cyklov zníži maximálne o 20 %.

4.3.12 Pevnosť v ťahu za ohybu

Podľa normy ČSN 72 1565-7

Skúšobná vzorka je podopretá dvoma podporami vo vzdialenosti l . Z vrchu na ňu tlačí sila vo vzdialenosti $l/2$ od podpory. Sila pôsobí na vzorku kým nedôjde k porušeniu vzorky. Pevnosť v ťahu za ohybu sa vypočíta z nasledujúceho vzťahu:

$$f_{ct} = \frac{3 \cdot F \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot h^2} [N/mm^2]$$



Fsila potrebná k porušeniu vzorky [N]

bšírka vzorky [mm]

h výška vzorky [mm]

l_0dĺžka medzi podporami [mm]

4.3.13 Stanovenie KTR jadra a črepu

. DKTA analýzou je možné zistiť aj Koeficient dĺžkovej teplotnej rozťažnosti α . KTR sa buď odčítava priamo z nameraných hodnôt dilatometru alebo sa zisťuje nasledujúcim vzťahom:

$$KTR_{\alpha} = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} [K^{-1}]$$

Δl zmena dĺžky vzorky spôsobená zmenou teploty $t_1 - t_0$ [mm]

l_0dĺžka vzorky pri teplote t_0 [mm]

Δt ($t_1 - t_0$).....rozdiel teplôt výpalu [K]

Rozdiel medzi KTR vypočítaným a skutočne nameraným dilatometricky sa môže líšiť v rozmedzí 2-5 %

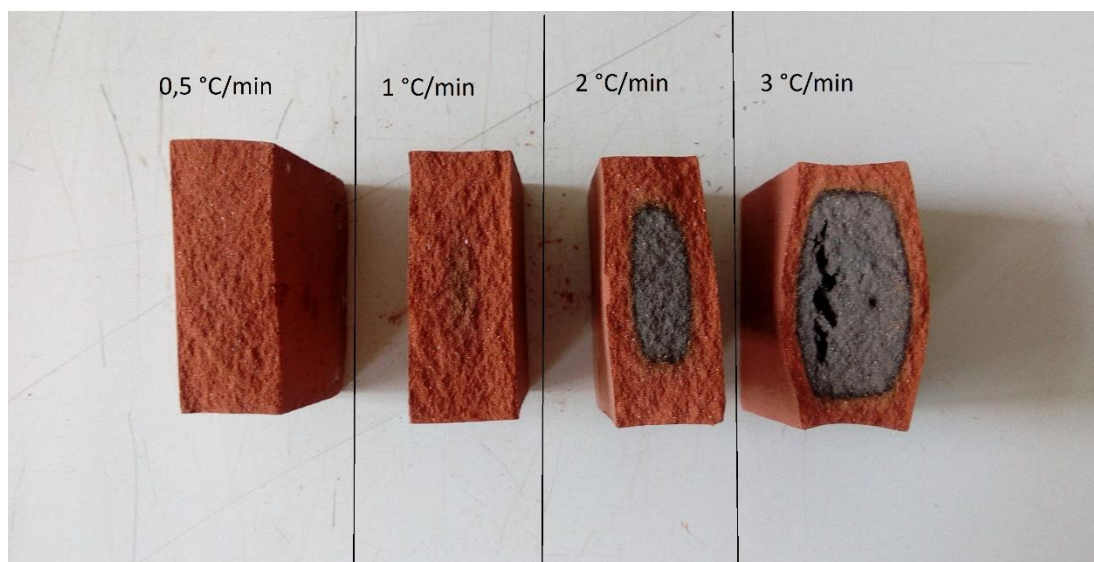
4.3.14 Metóda vysokotlakovej ortuťovej porozimetrie

Metóda ortuťovej porozimetrie je založená na jave kapilárnej depresie. Pri ponorení pórovitého materiálu do kvapaliny (ortuti), ktorá ju nezmáča (uhol zmáčania má väčší ako 90°), môže táto kvapalina vniknúť do pórov len pôsobením vonkajšieho tlaku. Pri zvyšovaní tlaku ortuť postupne vniká do pórov o menšom polomere. Pri súčasnom zvyšovaní tlaku a merania objemu úbytku ortuti (ktorá je tlačaná do pórov) je možné zistiť rozdelenie objemu pórov podľa veľkosti.

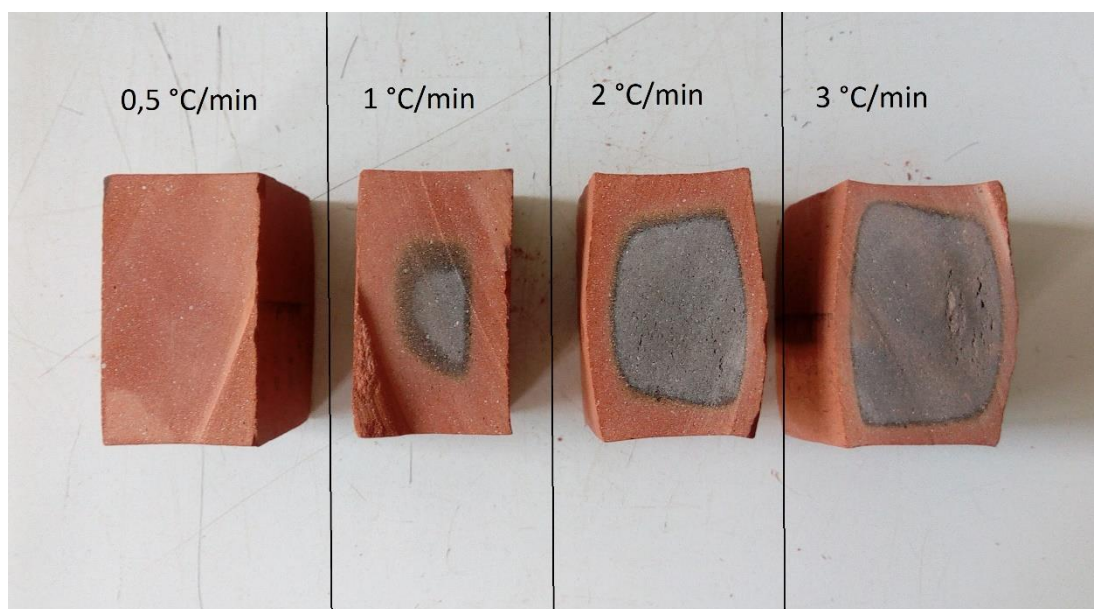
5 Vyhodnotenie

Po vykonaní skúšok na celom črepe sa zostatkové črepy rozrezali v polke a vyhodnotili sa veľkosti redukčného jadra v závislosti na rýchlosti nábehu teploty počas výpalu. Obrázok 13 zobrazuje veľkosť redukčného jadra v závislosti na rýchlosti výpalu na tenších vzorkách. Obrázok 14 zobrazuje rovnakú súvislosť na hrubších vzorkách. Vzorky bez redukčného jadra boli vypalované pri rýchlosti nábehu teploty $0,5^\circ\text{C}/\text{min}$. Najslabšie viditeľné redukčné jadro sa vyskytuje na vzorkách pri výpale $1^\circ\text{C}/\text{min}$. Pri $2^\circ\text{C}/\text{min}$ hrubšie vzorky už vykazovali nafúknutie črepu. Pri rýchlosti výpalu $3^\circ\text{C}/\text{min}$

bolo očividné nafúknutie aj pri tenších vzorkách. Z Obr. 13 a 14 môžeme jednoznačne usúdiť, že hrúbka črepu ovplyvňuje veľkosť redukčného jadra. U hrubších črepov došlo k vytvoreniu väčšieho redukčného jadra pri rovnakej rýchlosti výpalu a ku skoršiemu nafúknutiu.



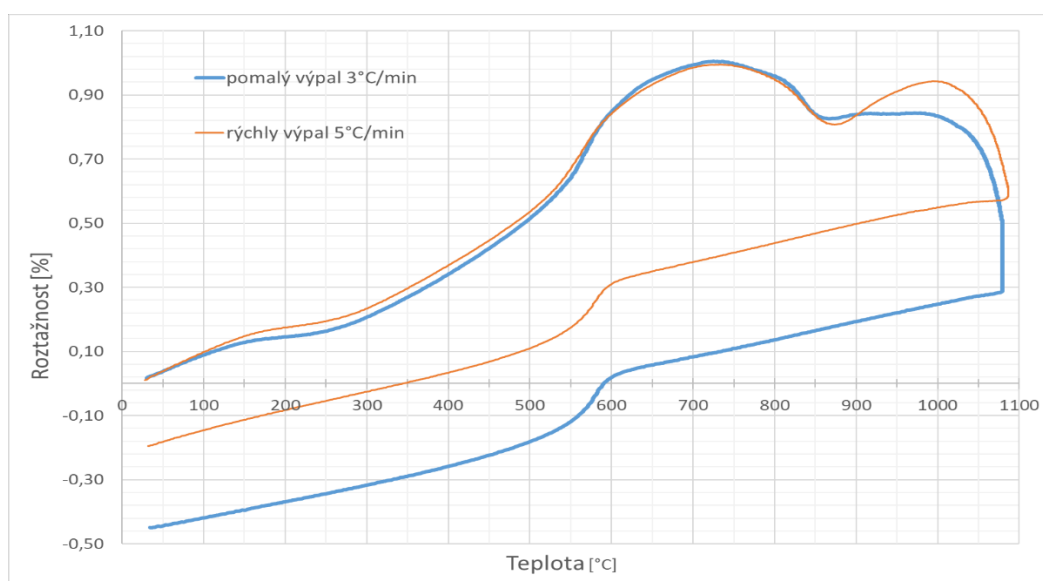
Obrázok 13: Závislosť veľkosti redukčného jadra na rýchlosti nábehu teploty počas výpalu u tenších vzoriek.



Obrázok 14: Závislosť veľkosti redukčného jadra na rýchlosti nábehu teploty počas výpalu u hrubších vzoriek.

5.1 DKTA

Graf DKTA vyjadruje vplyv rýchlosti nábehu teploty počas výpalu na paliacu krivku, čiže nevratné dĺžkové zmeny. Je viditeľné, že pri pomalšom výpale dôjde k väčším dĺžkovým zmenám. Príčina, podľa zobrazenia grafu, sa nachádza v oblasti medzi teplotami 850 až 1060 °C. Približne pri teplote 850 °C dochádza u črepu s rýchlejšim nábehom teploty k nafúknutiu. Pri teplote 1000 °C sa slinovaním črep mierne sťahuje, ale redukčné jadro má tendenciu sa zväčšovať, preto dochádza k rozdielu v dĺžkovej zmene medzi črepmi. Pri chladení je krivka zase podobná pri obidvoch rýchlostiach výpalu.



Obrázok 15: Graf – DKTA analýza

5.2 Porovnanie vlastností črepu

Tabuľka 8: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 1

rýchlosť výpalu [°C/min]	rozmery výlisku [mm]	DS [%]	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	ØZP [%]
0,5	100x50x20	-5,11	-1,03	-6,08	8,28	8,37
	100x50x30	-4,97	-0,29	-5,25	8,31	
1	100x50x20	-4,96	-0,94	-5,86	8,20	
	100x50x30	-4,96	-0,97	-5,69	8,30	
2	100x50x20	-5,16	-0,84	-5,96	8,33	
	100x50x30	-4,91	-0,64	-5,54	8,62	
3	100x50x20	-5,17	-0,68	-5,82	8,56	-
	100x50x30	-4,74	-1,20	-5,77	-	

Tabuľka 9: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 2

rýchlosť výpalu [°C/min]	rozmery výlisku [mm]	NV _{atm} [%]	NV _{vak} [%]	OH [kg/m ³]	PZ [%]	ZH [kg/m ³]	f _{ct} [MPa]
0,5	100x50x20	7,5	7,9	1990	15,7	2360	12,6
	100x50x30	7,8	8,1	1960	16,0	2340	
1	100x50x20	7,4	8,2	1950	15,3	2330	11,9
	100x50x30	6,6	7,3	1960	13,8	2280	
2	100x50x20	6,3	6,7	1930	13,0	2210	12,8
	100x50x30	5,5	5,9	1860	11,3	2090	
3	100x50x20	5,9	6,3	1790	10,3	2020	12,7
	100x50x30	5,7	6,0	1770	11,1	1980	

Zmrašťovanie po výpale sa so zväčšujúcim redukčným jadrom nijak výrazne nemení. Strata žíhaním (pálením) vyšla priemerne 8,37 %. Vyššie uvedené tabuľky a grafy poukazujú na skutočnosť, že výskyt redukčného jadra znižuje objemovú hmotnosť, zdánlivú hustotu ale takisto sa ním znižuje nasiakavosť aj zdánlivá pórovitosť. Z toho vyplýva buď, že celková pórovitosť črepu s redukčným jadrom je väčšia, ale množstvo otvorených pórov je menšie ako u črepu bez redukčného jadra alebo to môže znamenať, že medzi jadrom a povrchom je horšie prepojenie pórov. Pevnosť v ťahu za ohybu sa takisto s veľkosťou redukčného jadra výrazne nemení, dokonca sa môže zvyšovať.

5.3 Presiakavosť

Tabuľka 10: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 1

doba merania [min]	h [mm]			
	27,6	27,43	28,97	30,33
	výška vzlinutia pri rýchlostiach výpalu [mm]			
	0,5 [°C/min]	1 [°C/min]	2 [°C/min]	3 [°C/min]
10	15	15	13	15
20	18	20	15	17
30	22	22	16	20
40	25	27	17	22
50	28	30	20	24
60	30	33	24	26
70	32	36	25	28
80	35	38	26	31
90	38	40	28	32

Tabuľka 11: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 2

Rýchlosť výpalu [°C/min]	hmotnosť pred skúškou vzlínavosti [g]	hmotnosť po skúške vzlínavosti [g]	Δm [%]	Δm [%]
0,5	234,79	242,17	7,38	3,05
1	232,34	237,99	5,65	2,37
2	233,83	238,37	4,54	1,90
3	233,38	236,73	3,35	1,42

Tabuľka 12: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 3

	rýchlosť výpalu [°C/min]			
	0,5	1	2	3
h [mm]	17,91	18,37	18,64	18,91
DPV [h]	1,375	3,233	2,100	2,533

*DPV – Doba za ktorú presiakla vzorka v hodinách

Z nasledujúcich výsledkov presiakavosti sa môže konštatovať, že vznik a veľkosť redukčného jadra nezhoršuje nepresiakavosť črepu. Platí skôr opačná korelácia. Najväčšiu odolnosť proti presiaknutiu javila vzorka s minimálnym redukčným jadrom a najnižšiu vzorka bez redukčného jadra. Zo skúšky vzlínavosti sa zistilo, že najmenej vody prijala vzorka s najviac vyvinutým redukčným jadrom a najmenej bez spomenutého jadra. Pri meraní bola ťažko viditeľná hladina vzliutej vody a na každej strane vzorky iná (zaznamenávala sa najvyššia). Z uvedených výsledkov je zjavné, že voda vzlínila hlavne okolo redukčného jadra.

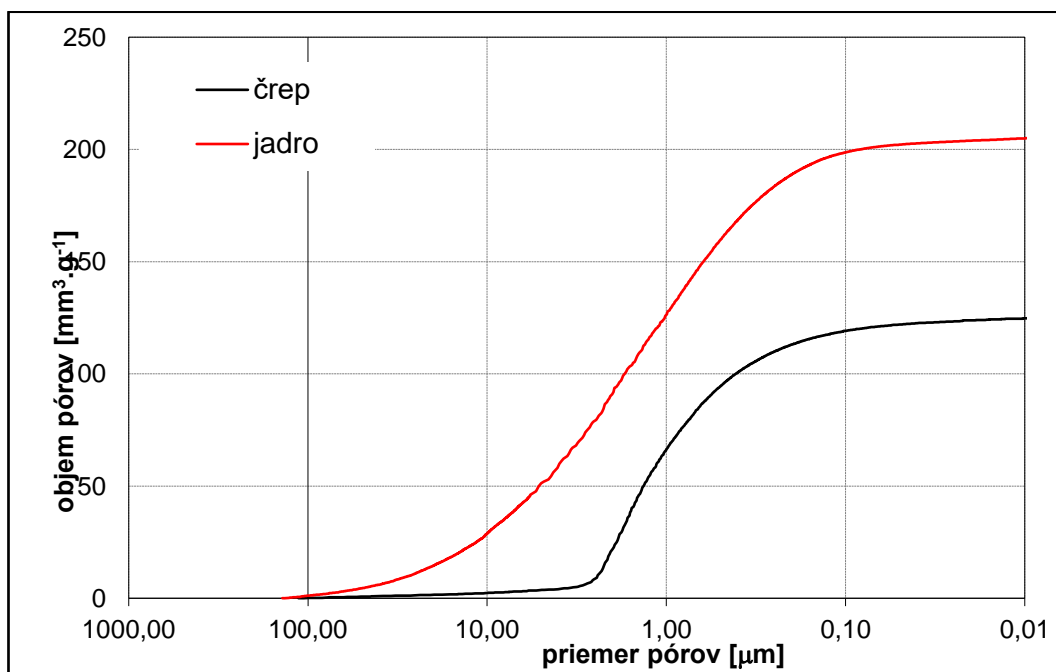
5.4 Porovnanie črepu k redukčnému jadru

Tabuľka 13: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 1

vzorka	NV _{atm} [%]	NV _{vak} [%]	OH [kg/m ³]	PZ [%]	ZH [kg/m ³]	f _{ct} [MPa]
jadro	7,5	9,1	1670	15,2	1970	13,4
črep	8,8	9,2	1960	18,0	2380	12,1

Tabuľka 14: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 2

vzorka	KTR _{40-500°C}	Celkový objem pórov [mm ³ /g]	medián priemeru pórov [μm]	celková pórovitosť [%]	OH [kg/m ³]	ZH [kg/m ³]
jadro	$69,63 \cdot 10^{-7}$	205	2,231	34,5	1680	2570
črep	$63,77 \cdot 10^{-7}$	124,7	1,642	23,4	1880	2450



Obrázok 16: Graf – Porovnanie distribučných kriviek redukčného jadra a črepu bez redukčného jadra

Uvedené výsledky z tabuľky 13 len potvrdzujú poznatky z kapitoly 7.2. Výsledky uvedené v tabuľke 14 boli zistené z ortuťovej porozimetrie okrem KTR_{40-500°C}, ktorý bol odčítaný z DKTA. Koeficient teplotnej rozťažnosti (KTR) jadra a črepu vysvetľuje, prečo redukčné jadro zhoršuje mrazuvzdornosť črepu. Jadro a črep majú rozdielnu teplotnú rozťažnosť, takže vzorku pri zmrazovacích cykloch drží len povrchová vrstva. V našom prípade došlo k porušeniu všetkých troch vzoriek s rôznou veľkosťou redukčného jadra už po 2 zmrazovacích cykloch. Skúšali sa hrubšie vzorky pri rýchlostiach nábehu teploty 1°C/min, 2°C/min, 3°C/min. Z ortuťovej porozimetrie sa zistilo, že redukčné jadro sa vyznačuje väčšou pórovitosťou. Z distribučných kriviek je viditeľné, že jadro obsahuje póry o väčšom objeme ako črep.

6 Zhrnutie výsledkov

Praktická časť poukázala na fakty, že:

- odlišne vedeným výpalom sa dá eliminovať vznik redukčného jadra. Ako optimálna rýchlosť nábehu teploty počas výpalu sa ukázala 0,5 °C/min, kedy redukčné jadro už nevznikalo. Pri 3 °C/min už dochádzalo k silnému nafúknutiu črepu.
- hrúbka vzorky je priamo úmerná veľkosti vzniknutého redukčného jadra
- pri výpale črepu, ktorý vytvára redukčné jadro dochádza k menším nevratným dĺžkovým zmenám ako u črepu, ktorý redukčné jadro nevytvára, kvôli tendencii redukčného jadra sa nafukovať.
- výskyt redukčného jadra nezhoršuje pevnosť v ťahu za ohybu ani presiakavosť pálenej strešnej krytiny, ale výrazne zhoršuje mrazuvzdornosť.

Pri porovnaní výsledkov objemovej hmotnosti a zdanlivej hustoty zistených ortuťovou porozimetriou a pri laboratórnych skúškach môžeme usudzovať že:

- laboratórne skúšky sa vyznačujú určitou odchýlkou merania
- aj keď sa javí z laboratórnych skúšok, že jadro obsahuje viac uzavretých pórov, a otvorených má menej ako črep (zistené z výsledkov ZH a PZ), výsledky ortuťovej porozimetrie nesúhlasia. Z toho vyplýva, že črepy s redukčným jadrom majú nižšiu nasiakavosť pri atmosférickom tlaku, zdanlivú pórovitosť a zdanlivú hustotu preto, lebo pri výpale dôjde vplyvom jemných podielov suroviny a určitého množstva tavnín k zníženiu prepojenia pórov medzi povrchovou vrstvou a jadrom črepu [8,11]. Dôjde k uzavretiu redukčného jadra v črepe a voda sa ťažšie dostáva do vnútra črepu. Toto tvrdenie vysvetľuje prečo pri skúške vztlínivosti vzorka bez redukčného jadra prijala najviac vody a vzorka s najväčším redukčným jadrom prijala najmenej vody. Takisto to vysvetľuje prečo pri skúške zdanlivej pórovitosti prerezaných vzoriek vychádza pórovitosť vyššia u črepov s redukčným jadrom [9]. Je potrebné sa tejto problematike ešte ďalej venovať aby sa získali výsledky na usúdenie jednoznačného záveru.

7 Záver

V súlade so zadáním bola bakalárska práca venovaná vplyve redukčného jadra na základné fyzikálno-mechanické parametre pálených strešných tašiek. V teoretickej časti sa definoval rozdiel medzi čiernym a redukčným jadrom a uviedli sa faktory, ktoré ovplyvňujú vznik týchto jadier v tehliarskom črepe.

Ďalej sa vykonal rešerš doposiaľ publikovaných výsledkov v oblasti vplyvu redukčného jadra na vlastnosti tehliarskeho črepu. Výskyt redukčného jadra je problémom hlavne u pálených strešných tašiek, a u týchto tašiek sa kladie dôraz hlavne na mrazuvzdornosť, presiakavosť a únosnosť. Hlavným cieľom práce preto bolo vysvetliť ako redukčné jadro v pálenej krytine ovplyvňuje tieto vlastnosti. Výskyt redukčného jadra výrazne znižuje mrazuvzdornosť tehliarskeho črepu, čo sa dokonca overilo aj v praktickej časti. Je to zapríčinené hlavne odlišnou teplotnou rozťažnosťou jadra a povrchovej vrstvy. K presiakavosti a únosnosti sa nevyjadrovala žiadna dostupná literatúra, a preto sa tieto vlastnosti pozorovali v praktickej časti.

Na konci teoretickej časti sa popísali pravidlá pre elimináciu redukčného jadra počas výpalu tehliarskeho črepu. Vznik redukčného jadra je možné eliminovať pomocou chemickej prísady Vuppor alebo Vuptav, a taktiež pomocou prírodných prísad na báze ostriva, ako sú napríklad pomleté črepy z vlastného výmetu alebo kremičitý piesok. Druhý spôsob eliminácie redukčného jadra je odlišne vedený výpal, ktorému sa venovala pozornosť v praktickej časti.

V praktickej časti boli vyrobené vzorky s rozdielne vyvinutým redukčným jadrom na základe odlišnej rýchlosti nábehu teploty počas výpalu. Na 2 vzorkách sa vykonala kontrakčne dilatačne termická analýza (DKTA) pri rôznych rýchlostiach nábehu teploty počas výpalu. Z DKTA sa zistilo, že črep s výrazným redukčným jadrom sa vyznačuje menšími celkovými dĺžkovými zmenami, kvôli tendencii sa nafukovať. Na ostatných vzorkách sa zisťovali vlastnosti, ktoré neboli zatiaľ publikované. Vykonyvala sa hlavne skúška presiakavosti črepu s rôzne vyvinutým redukčným jadrom. Z tejto skúšky vyplynulo, že výskyt redukčného jadra nezhoršuje nepresiakavosť črepu. Pri

skúške pevnosti v ťahu za ohybu sa takisto nezistil negatívny vplyv redukčného jadra na pevnosť tehliarskeho črepu.

Pomocou metódy vysokotlakovej ortuťovej porozimetrie sa porovnala pórovitosť redukčného jadra a črepu. Výsledky poukázali na väčšiu pórovitosť, objem pórov aj medián priemeru pórov u redukčného jadra.

Na záver je potrebné ešte uviesť, že je možné eliminovať redukčné jadro znížením rýchlosti nábehu teploty počas výpalu v laboratórnej elektrickej peci. Ako optimálna rýchlosť sa ukázala 0,5 °C/min, kedy už nevzniklo redukčné jadro ani vo vnútri hrubých vzoriek o rozmeroch 100 x 50 x 30 mm.

8 Zoznam použitých zdrojov

1. Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3.
2. Hanykýř. V. Kutzendorfner Technologie keramiky. Vega. Hradec Králové 2001.
3. ŠVEDA, Mikuláš. Čierne jadro v tehliarskych výrobkoch a využitie poznania vzájomných vzťahov medzi fyzikálnymi vlastnosťami črepu v praxi (1. časť). In Silika. Roč. 15, č. 3-4 (2005), s.93-96. ISSN 1213-3930.
4. LACH, V.: Keramika 1. SNTL, Praha, 1986
5. Böhm, I.: Možnosti využitia drevného odpadu v tehliarskej výrobe. Stavivo, 1984, roč. 62, č. 3, str. 115 - 118
6. LACH, V., NOVOTNÝ, B. VOBORSKÝ, Z.: Vyhořívání uhlíkatých látek zalisovaných do cihlářské suroviny. Cihlářský zpravodaj, 1984, roč. 19, č. 6., s. 229-235
7. LACH, V., VOBORSKÝ, Z.: Další poznatky o vyhořívání uhlíkatých látek z keramického střepu. s. 95-98
8. ŠVEDA, M. The Reduction Core in Clay Roofing Tiles. Střechy, fasády, izolace, Vol. 13, 2003, No. 1, pp. 36 – 37 (in Slovak).
9. Šveda, M.: Čierne redukčné jadro v pálenej krytine a možnosti jeho odstránenia. Silika, roč. 12, 2002, č. 3–4, str. 96–99
10. Šveda, M. Mrazuvzdornost pálené krytiny s redukčním jádrem. Silika. 2003. Vol. 13, no. 5-6, s. 152-155.
11. ŠVEDA, Mikuláš. Vplyv pórovej štruktúry tehliarskeho črepu na veľkosť redukčného jadra. In Silika. Roč. 18, č. 3-4 (2008), s.100-102. ISSN 1213-3930
12. Yu. E Karev and E I. Bernshtein, "Formation of the black core in high-speed firing of floor tiles," Publ. NIISroikeramika, Nos. 35 - 36, 71 - 86 (1972).
13. L. Gredmaier, C. J. Banks, R. B. Pearce, Calcium and sulphur distribution in fired clay brick in the presence of a black reduction core using micro X-ray fluorescence mapping

14. H. Violet: Poroton - Ein neuer Hochlochziegel. Sprechsaal, č. 2, 1970
15. Šveda, M.: Frost resistance of brick. American Ceramic Society Bulletin, Vol. 80, No. 9, 2001, pp. 46 -48
16. Seaverson, E., J., Brosman, D., A.: Dehnungserscheinungen beim Gefrieren wassergesättigter Ziegel und deren Auswirkung auf die Frostbeständigkeit. ZI Ziegelindustrie International, Vol. 54, No. 4, 2001, S. 12-19
17. Berthold, H, Thieda, D.: Erkenntnisse zur Ausbildung schwarzer Kerne und zur Frostbeständigkeit schnellgebrannter Dachziegel. Ziegel Zeitschrift, Vol. 5, No. 4, 2000, S. 228-231
18. Sokolář, R.: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, s. 36-37
19. Lach, V., Daňková, M. Mikrostruktura stavebních látek. Brno: VUT Brno, 1991.

9 Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 1: Priečny rez nafúknutého páleného črepu s redukčným jadrom [8]

Obrázok 2: Priečny rez pálenej krytiny, uloženej v hornej časti pecného voza [8]

Obrázok 3: Priečny rez pálenej krytiny, uloženej v dolnej časti pecného voza [8]

Obrázok 4: Čierne jadro na povrchu veľkorozmerových tvaroviek [3]

Obrázok 5: Vznik čierneho jadra v tehlovom črepe v závislosti na druhu spáliteľných látok používaných ako ľahčivo a na dĺžke izotermickej výdrže [1]

Obrázok 6: Zjednodušený diagram procesov spôsobujúcich čierne redukčné jadro tehly. CO_2 , CO , SO_2 a vodné pary sú plyny, ktoré vznikajú pri spaľovaní hliny [13]

Obrázok 7: Detail lomovej plochy pálenej krytiny s redukčným jadrom v jeho okrajovej oblasti [10]

Obrázok 8: Skúšobné vzorky po vypálení pri konštantnej vypaľovacej teplote 960°C . Dávka prísady Vuppor: a – 0 %, b – 0,2 %, c – 0,3 %, d – 0,4 %, e – 0,6 % [9]

Obrázok 9: Skúšobné vzorky po vypálení pri konštantnej vypaľovacej teplote 960°C . Dávka pomletých črepov: a – 0 %, b – 5 %, c – 10 % [9]

Obrázok 10: Závislosť veľkosti redukčného jadra od celkového objemu pórov v povrchovej vrstve črepu [11]

Obrázok 11: Závislosť veľkosti redukčného jadra od percentuálneho podielu pórov v povrchovej vrstve črepu väčších ako 335 nm [11]

Obrázok 12: Príklad usporiadania dilatometru: 1 – ocelový plášť, 2 – izolácia, 3 – šamotové izolačné teleso, 4 – regulačný termočlánok, 5 – cussilitové topné teleso, 6 – snímací nástavec so vzorkou, 7 – elektronický snímač [19]

Obrázok 13: Závislosť veľkosti redukčného jadra na rýchlosti nábehu teploty počas výpalu u tenších vzoriek.

Obrázok 14: Závislosť veľkosti redukčného jadra na rýchlosti nábehu teploty počas výpalu u hrubších vzoriek.

Obrázok 15: Graf – DKTA analýza

Obrázok 16: Graf – Porovnanie distribučných kriviek redukčného jadra a črepu bez redukčného jadra

10 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Vplyv uloženia pálenej krytiny na pecnom voze na jeho vybrané fyzikálne vlastnosti – črep takmer bez čierneho jadra [9]

Tabuľka 2: Vplyv uloženia pálenej krytiny na pecnom voze na jeho vybrané fyzikálne vlastnosti – črep s výrazným čiernym jadrom [9]

Tabuľka 3: Vplyv uloženia pálenej krytiny na pecnom voze na jeho vybrané fyzikálne vlastnosti čierneho jadra a povrchovej vrstvy [9]

Tabuľka 4: Vznik prvej trhliny na skúšobných vzorkách vypálených pri troch rôznych vypaľovacích teplotách [10]

Tabuľka 5: Vplyv prísady Vuppor na vybrané fyzikálne vlastnosti skúšobných vzoriek pri zníženej plasticite cesta (Pfefferkorn = 36 mm) [9]

Tabuľka 6: Vplyv črepov z vlastného výmetu na vybrané fyzikálne vlastnosti skúšobných vzoriek (Pfefferkorn = 32 mm) [9]

Tabuľka 7: Prírodné a chemické prísady [11]

Tabuľka 8: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 1

Tabuľka 9: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 2

Tabuľka 10: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 1

Tabuľka 11: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 2

Tabuľka 12: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 3

Tabuľka 13: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 1

Tabuľka 14: Namerané a vypočítané hodnoty - časť 2